II/H
111.
BHS II H 111-3

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

LEHRBUCH

DER

PHYSIK UND METEOROLOGIE.

THEILWEISE NACH

POUILLET'S LEHRBUCH DER PHYSIK

SELBSTÄNDIG BEARBEITET

VON

DR. JOH. MÜLLER,

Grossh. badisch. Hofrath und Ritter des Zähringer Löwenordens, Professor der Physik an der Universität zu Freiburg im Breisgau, der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft Ehrenmitglied und correspondirendes Mitglied mehrer andern gelehrten Gesellschaften.

DRITTER BAND.

KOSMISCHE PHYSIK.

DRITTE

UMGEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1872.

LEHRBUCH

DER

KOSMISCHEN PHYSIK.

VON

DR. JOH. MÜLLER,

Grossh. badisch. Hofrath und Ritter des Zähringer Löwenordens, Professor der Physik an der Universität zu Freiburg im Breisgau, der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft Ehrenmitglied und correspondirendes Mitglied mehrer andern gelehrten Gesellschaften.

BIBLIOTHEK DER K.B. GENERAL BERGW. U. SALINEN ADMINISTR.

DRITTE

UMGEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE.

MIT 385 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN UND 25 DEM TEXTE BEIGEGEBENEN, SOWIE EINEM ATLAS VON 40 ZUM THEIL IN FARBENDRUCK AUSGEFÜHRTEN TAFELN.

Bayerische Staatsbibliothek München

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1872.

Die Herausgabe einer Uebersetzung in französischer und englischer Sprache, sowie in anderen modernen Sprachen wird vorbehalten.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

VORREDE ZUR ERSTEN AUFLAGE.

Wie überhaupt die Naturwissenschaften zu den wichtigsten Factoren der geistigen Entwickelung des Menschengeschlechtes gehören, so ist namentlich das Studium der kosmischen Erscheinungen geeignet, allgemeine Bildung zu fördern, geistige Belebung und Veredlung zu vermitteln. Es ist deshalb erfreulich, dass nicht allein der Sinn für einen edleren geistigen Naturgenuss sich mehr und mehr verbreitet, sondern dass auch, trotz so mancher Anfeindungen und Verdächtigungen, welche in neuester Zeit gegen die Naturwissenschaften und gegen den naturwissenschaftlichen Unterricht laut wurden, das Streben, sich von den Gesetzen zu unterrichten, welche die ganze Schöpfung beherrschen, mehr und mehr aus dem engeren Kreise der Fachgelehrten heraustritt, dass man, und zwar mit Recht von den Gebildeten aller Stände eine Bekanntschaft mit den bedeutendsten Resultaten der Naturforschung sowohl als auch mit dem Geiste derselben verlangt.

In Deutschland ist es vorzugsweise Alexander von Humboldt, welcher durch seine geistreichen Schriften die allgemeine Aufmerksamkeit auf die kosmischen Erscheinungen gelenkt und den Sinn für deren Studium geweckt und belebt hat; sein „Kosmos" namentlich hat einen ganz neuen Schwung in diesen Zweig unserer Literatur gebracht. — So mannigfaltig aber auch der Gegenstand jenes classischen Werkes behandelt worden ist, so fehlt es doch noch an einem Werke, in welchem die Physik des Himmels und der Erdkugel in Form eines Lehrbuches systematisch zusammengestellt ist, an einem Werke, welches ausser der Astronomie, für welche es freilich nicht an trefflichen, mehr oder weni-

ger populär gehaltenen Lehrbüchern fehlt, in gleicher Weise auch noch physikalische Geographie und Meteorologie umfasst.

Diese Lücke auszufüllen ist der Zweck des vorliegenden „Lehrbuchs der kosmischen Physik“, welches ich insofern als ein populäres Werk bezeichnen muss, als dasselbe nur elementare Vorkenntnisse voraussetzt, und als alle in demselben vorkommenden mathematischen Entwickelungen nicht über das Bereich der Elementar-Mathematik hinausgehen. Der Standpunkt des Lesers, welcher in demselben vorausgesetzt wird, ist derselbe, welchen ich bei Abfassung meines grösseren Lehrbuches der Physik im Auge hatte, und ich habe hier wie dort im Wesentlichen dieselbe Entwickelungsmethode, dieselbe Darstellungsweise befolgt.

Um den Umfang dieses Buches nicht unnöthig auszudehnen, habe ich die wenigen zum Verständnisse nothwendigen mathematischen und physikalischen Vorkenntnisse nicht in dem Werke selbst entwickelt, wie dies bei den meisten Lehrbüchern der Astronomie gebräuchlich ist, sondern auf die entsprechenden Stellen mathematischer und physikalischer Lehrbücher verwiesen *). Solche Vorkenntnisse bringen wohl die meisten Leser schon aus einem guten Schulunterrichte mit; für den Fall aber, dass denselben das Eine oder das Andere entfallen, dass ihnen die mathematischen Sätze und physikalischen Thatsachen, von welchen gerade Gebrauch gemacht werden soll, nicht mehr in ihrem Zusammenhange gegenwärtig sein sollten, ist es doch wohl besser, sich aus selbstständigen Lehrbüchern der fraglichen Hülfswissenschaften Raths zu erholen, als sich mit nothdürftigen Schaltcapiteln zu behelfen, die ihren Zweck doch nur höchst unvollständig erfüllen.

Wenn das Studium der Disciplinen, welche in dem vorliegenden Werke vorgetragen werden, auch allgemein geistbildend wirken soll, so genügt es nicht, den strebsamen Leser mit den Resultaten der wissenschaftlichen Forschung bekannt zu machen, ihm die Gesetze darzulegen, welche durch den Fleiss und den Scharfsinn der Astronomen und Naturforscher nachgewiesen worden sind; man muss ihm auch den Zusammenhang zwischen der unmittelbaren Anschauung und den Gesetzen zeigen, welche aus den Beobachtungen abgeleitet

*) Die Citate beziehen sich, wo nicht andere Werke namentlich angegeben sind, auf die siebente Auflage meines „Lehrbuchs der Physik und Meteorologie“, Braunschweig 1868, und auf meine „Elemente der ebenen und sphärischen Trigonometrie“, Braunschweig 1859, in welchen der Leser auf wenigen Bogen die Grundzüge dieser wichtigen Disciplinen leicht fasslich entwickelt findet.

worden sind; der Leser muss eine Einsicht in die Art und Weise erlangen, wie die Gesetze entwickelt werden, damit er einen Maassstab habe für die Würdigung derselben, damit er das fest begründete Gesetz unterscheiden lerne von der schwankenden Hypothese, das Nothwendige von dem Willkürlichen, die Thatsache von der Vorstellung; selbst auch populäre Schriften (im besseren Sinne des Wortes) müssen den Leser in den Geist der wahren naturwissenschaftlichen inductiven Methode einführen. Es war mein eifrigstes Streben, bei Abfassung der vorliegenden „kosmischen Physik“ diese Aufgabe nach Kräften zu lösen.

Am schwierigsten ist die elementare Behandlung im astronomischen Theile durchzuführen. Hier nun war ich bemüht, soweit als möglich den Gang der Erscheinungen durch Beispiele zu erläutern, welche entweder von wirklich angestellten Beobachtungen, oder aus astronomischen Jahrbüchern entnommen sind, weil an concreten Beispielen am leichtesten eine lebendige und klare Anschauung gewonnen wird. Da wo allgemeine Entwickelungen die Kräfte der Elementar-Mathematik überschritten haben würden, habe ich, wenigstens für specielle Fälle, durch numerische Berechnungen den Zusammenhang verständlich zu machen gesucht.

Da sich der naturwissenschaftliche Unterricht vor allen Dingen auf Anschauung gründen muss, da namentlich in Werken, welche auch zum Selbstunterrichte dienen sollen, dieser Punkt ganz besonders zu berücksichtigen ist, so habe ich auf die Abbildungen eine ganz besondere Aufmerksamkeit und Mühe verwendet, und die Verlagshandlung hat keine Opfer gescheut, dies Bestreben in jeder Beziehung auf das Kräftigste zu unterstützen, wie schon ein oberflächlicher Anblick der in den Text eingedruckten Holzschnitte sowohl, als auch der zu einem Atlas verbundenen Stahlstiche zeigt. Für schwierig zu zeichnende Apparate habe ich mit Erfolg die Photographie in Anwendung gebracht. — Auf den Karten des Atlasses habe ich möglichst jede Ueberladung auf einem Blatte zu vermeiden gesucht. Weil das Bild des gestirnten Himmels durch Begränzung der Sternbilder und durch Eintragen der Namen gestört wird, so sind in dem Atlas zweierlei Sternkarten gegeben; einmal solche, welche das Bild des gestirnten Himmels möglichst treu wiedergeben, und dann solche, in welchen man die Abtheilung der Sternbilder, die Namen u. s. w. findet. Auf einer besonderen Tafel sind die wahren Bahnen der unteren, auf einer anderen die wahren Bahnen der oberen Planeten gegeben, und den Kometenbahnen sind zwei Tafeln gewidmet, weil die Vereinigung aller Planetenbahnen sammt

den Bahnen der wiederkehrenden Kometen auf einer Tafel alle Uebersichtlichkeit gestört haben würde. Ebenso habe ich lieber die Anzahl der Erdkarten vermehrt und auf jede derselben immer nur ein einziges Curvensystem aufgetragen, damit dasselbe dem Leser auf den ersten Blick klar und verständlich sei, und er nicht nöthig habe, mit Mühe den Verlauf einer Linie in dem Chaos anderer Curven zu verfolgen, wie es unvermeidlich ist, wenn man mehrere Curvensysteme auf derselben Tafel vereinigt.

Die zahlreichen Abbildungen aller Art tragen so sehr zum leichteren Verständniss der vorgetragenen Materien bei, sie erleichtern so sehr das Studium derselben, und sind deshalb auch so sehr im Interesse des Lesers, dass von dieser Seite wohl schwerlich der Vorwurf eines unnöthigen Luxus zu fürchten ist.

Da ein Werk wie das vorliegende nicht allein zur Lectüre, sondern auch zum Nachschlagen dienen soll, so muss man es dem Leser möglichst erleichtern, sich darin zurecht zu finden. Ich habe deshalb dem Buche zwei Register beigegeben, ein systematisches, aus welchem man die Ordnung übersehen kann, in welcher die einzelnen Materien behandelt worden sind, und ein alphabetisches, aus welchem man erfährt, wo man nachzuschlagen hat, um über bestimmte Gegenstände Auskunft zu erhalten.

Ich habe das Buch mit Fleiss und Sorgfalt, mit Lust und Liebe ausgearbeitet. Möge es dazu beitragen, den Naturwissenschaften Freunde zu gewinnen und all das Gute zu fördern, was mit ihrer Cultur und Verbreitung verbunden ist.

Freiburg, im Januar 1856.

Dr. J. Müller.

VORREDE ZUR DRITTEN AUFLAGE.

Selten sind wohl in einem Zweige der Wissenschaft in wenigen Jahren so riesenhafte Fortschritte gemacht worden, wie in einigen der Disciplinen, welche in der kosmischen Physik behandelt werden. Voran steht hier vor allen Dingen die Spectralanalyse in ihrer Anwendung auf die Himmelskörper. Hatte die genaue Beobachtung der Doppelsterne den Beweis geliefert, dass das Gesetz der allgemeinen Schwere nicht allein unser Planetensystem beherrscht, sondern dass es auch in den fernsten Räumen des Weltalls seine volle Geltung hat, so lehrt uns nun die Spectralanalyse der Himmelskörper, dass wir dieselben Stoffe, welche unsere Erde bilden, auch auf der Sonne, den Fixsternen und in den Nebelflecken wiederfinden, kurz die prismatische Zerlegung des Lichtes, welches die fernsten Himmelskörper uns zusenden, hat uns die wichtigsten, vor wenigen Jahren noch nicht geahnten Aufschlüsse über die physische Beschaffenheit derselben gegeben.

Von allen diesen Dingen war in der zweiten Auflage des vorliegenden Werkes noch keine Rede, kein Wunder also, wenn das zweite Buch desselben, in welchem die kosmischen und atmosphärischen Lichterscheinungen behandelt werden, auf mehr als das Doppelte seines früheren Umfangs angewachsen ist. Jedenfalls hat das zweite Buch die wesentlichsten Bereicherungen erfahren und zwar nicht allein durch die neueren optisch-astronomischen Entdeckungen, sondern auch dadurch, dass mehrere atmosphärische Lichterscheinungen, welche in den älteren Auflagen allzu flüchtig berührt waren, wie z. B. die Luftspiegelung, die Sonnen- und Mondhöfe, die secundären Regenbogen u. s. w., jetzt ausführlicher behandelt worden sind.

Obgleich die im ersten Buche behandelte Lehre von den Bewegungserscheinungen der Himmelskörper zu den am meisten abgeschlossenen Disciplinen der kosmischen Physik gehört, so hat dasselbe doch dadurch eine namhafte Bereicherung erfahren, dass es in den letzten Jahren gelungen ist, die Bahn der Meteorite im Weltraum zu erforschen und damit den Nachweis zu liefern, dass sie nicht in unserem Planetensystem entstanden, sondern dass sie als Fremdlinge von Aussen her in dasselbe eingedrungen sind. In Folge davon musste denn auch der Besprechung der Meteorite eine andere Stelle angewiesen werden, als in der vorigen Auflage, in welcher sie überhaupt nur kurz behandelt worden waren.

Ausser zahlreichen formellen Verbesserungen, welche das erste Buch erfahren hat, war ich auch bemüht, dem Leser die nächsten Erscheinungsperioden der mit unbewaffnetem Auge sichtbaren Planeten vorzuführen, um ihm die Beobachtung derselben zu erleichtern. Besonders ausführlich ist die Oppositionsperiode des Mars im Jahre 1871 behandelt, in der Erwartung, dass die Publication des Werkes noch vor Eintritt derselben erfolgen werde. Leider ist durch verschiedene Umstände, namentlich auch durch den nun rühmlichst und glücklich beendeten Krieg, das Erscheinen der neuen Auflage so weit verzögert worden, dass der 46te Paragraph nicht mehr bevorstehende, sondern zum grossen Theil bereits vorüber gegangene Erscheinungen berichtet.

Die Beschreibung der Mondoberfläche wird durch eine wohlgelungene verkleinerte Copie der Rutherfurd'schen Mondphotographie erläutert, welche ohne Zweifel für viele Leser eine willkommene Bereicherung des Atlasses bildet.

Dass auch das dritte Buch, welches die calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre behandelt, nicht unerhebliche Bereicherungen und Verbesserungen erfahren hat, dürfte schon daraus hervorgehen, dass sein Umfang von nicht ganz 11 Bogen auf 16 Bogen gewachsen ist. Die meteorologischen Instrumente sind eingehender behandelt worden als früher, und auch einige der einfachsten und zweckmässigsten registrirenden Instrumente sind abgebildet und näher beschrieben worden. — Die Erklärung der Gletscherphänomene ist durch die Untersuchungen über Regelation bedeutend gefördert worden. Ueber den Föhn, welcher in der zweiten Auflage nur flüchtig erwähnt wurde, ist durch mehrfache neuere Untersuchungen und Discussionen ein neues Licht verbreitet worden, in Folge dessen ihm eine eingehendere Besprechung gewidmet werden musste.

Die Paragraphen über telegraphische Witterungsberichte und Sturmwarnungen sind ganz neu hinzugekommen. Kurz, auch im dritten Buche wird kaum eine Parthie zu finden sein, welche nicht eine wesentliche Umgestaltung erfahren hätte.

Den räthselhaftesten Theil der Meteorologie bilden noch immer die elektrischen Erscheinungen der Atmosphäre, deren Erforschung auch in der neuesten Zeit keine namhaften Fortschritte gemacht hat; dessen ungeachtet ist auch das vierte und letzte Buch unseres Werkes nicht ohne Zusätze und Verbesserungen geblieben.

In der ersten und zweiten Auflage der kosmischen Physik waren sämmtliche Holzstiche, also auch diejenigen in den Text eingedruckt worden, welche weiss auf schwarzem Grunde ausgeführt sind. So präcis nun auch der Stich dieser Figuren, so sauber auch ihr Druck sein mag, so machten sie sich doch auf der Rückseite des Blattes auf eine um so unangenehmere Weise bemerkbar, je grösser sie waren, namentlich also bei mehreren Sternkarten, welche eine ganze Octavseite ausfüllen. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, sind in der neuen Auflage die schwarzen Figuren meist aus dem Texte entfernt und auf besondere Octavblätter verwiesen worden, welche zum Unterschied von den Tafeln des Atlasses mit arabischen Ziffern numerirt wurden. Die Anzahl dieser Octavtafeln, unter welchen sich auch zwei in Farbendruck ausgeführte befinden, nämlich eine astronomische Spectraltafel und eine Abbildung von Sonnenprotuberanzen, ist auf 25 gestiegen.

Wenn der Umfang unseres Lehrbuches der kosmischen Physik nicht unerheblich gewachsen ist, so ist damit doch die Tendenz des Werkes in keiner Weise geändert worden. Seine Ausdehnung wurde vorzugsweise durch die neuen Entdeckungen des letzten Jahrzehnts bedingt. Während diese neuen Errungenschaften in Specialwerken zum Theil vortrefflich behandelt worden sind, so findet der Leser sie doch hier zum ersten Male in übersichtlicher Form zusammengestellt und in den Rahmen eines Lehrbuches eingepasst.

Freiburg, im August 1871.

Dr. J. Müller.

INHALTSVERZEICHNISS.

Seite

Einleitung 1

Erstes Buch.

Bewegungserscheinungen der Himmelskörper und ihre mechanische Erklärung.

Erstes Capitel.

Der Fixsternhimmel und seine tägliche Bewegung.

1. Das Himmelsgewölbe 5
2. Tägliche Bewegung der Gestirne 7
3. Sternzeit 10
4. Sternbilder 11
5. Bezeichnung der einzelnen Sterne 13
6. Orientirung am Himmel 15
7. Höhe und Azimut 17
8. Bestimmung des Meridians 19
9. Das Theodolit 21
10. Bestimmung der Mittagslinie mit Hülfe des Theodolits 24
11. Theodolit mit gebrochenem Fernrohr 26
12. Declination, Stundenwinkel und Rectascension 28
13. Mittagsrohr und Mittagskreis 33
14. Das Aequatorealinstrument 39

Zweites Capitel.

Gestalt, Grösse und Axendrehung der Erde.

15. Krümmung der Erdoberfläche 46
16. Bestimmung der Kugelgestalt durch astronomische Beobachtungen . . 51
17. Geographische Länge und Breite 54
18. Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes 56
19. Bestimmung der geographischen Länge 57
20. Abplattung der Erde 60
21. Gradmessungen 62
22. Axendrehung der Erde 65
23. Foucault's Pendelversuch 69

Drittes Capitel.

Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derselben.

Seite

24. Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe 77
25. Pol der Ekliptik, Länge und Breite am Himmel 80
26. Der Thierkreis . 82
27. Wahre und mittlere Sonnenzeit 83
28. Anblick des Himmels in den Nachtstunden verschiedener Monate . 86
29. Bestimmung des Stundenwinkels eines Sternes für einen gegebenen Augenblick . 87
30. Zeitbestimmung durch Culminationsbeobachtungen 88
31. Zeitbestimmung durch correspondirende Höhen 90
32. Zeitbestimmung durch einfache Sonnenhöhen 90
33. Die Sonnenuhr . 94
34. Bestimmung des Frühlingspunktes 95
35. Der Kalender . 96
36. Rückgang der Aequinoctialpunkte 97
37. Nutation . 99
38. Erklärung der scheinbaren Bewegung der Sonne 100
39. Jährliche Bewegung der Erde um die Sonne 105
40. Eintheilung der Erde in fünf Zonen 108
41. Tagesdauer an verschiedenen Orten und in verschiedenen Jahreszeiten 110
42. Wahre Gestalt der Erdbahn 114
43. Entfernung der Sonne von der Erde 116
44. Dimensionen der Sonne . 119

Viertes Capitel.

Die Planeten.

45. Scheinbare Bewegung der Planeten 121
46. Die scheinbare Bahn des Mars während seiner nächsten Oppositionsperiode . 124
47. Veränderlichkeit im Glanz und der Grösse der Planeten 127
48. Das Ptolemäische Planetensystem 128
49. Das Copernicanische Planetensystem 131
50. Erklärung der Rückläufigkeit nach dem Copernicanischen System . 133
51. Construction der scheinbaren Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System . 134
52. Modell zur Erklärung des Planetenlaufs 138
53. Elemente der Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System . 139
54. Die Kepler'schen Gesetze . 144
55. Mercur . 146
56. Venus . 147
57. Die nächsten Erscheinungen der Venus 152
58. Mars . 153
59. Jupiter . 154
60. Die nächsten Sichtbarkeitsperioden des Jupiter 155
61. Saturn . 157
62. Die nächsten Oppositionsperioden des Saturn 158
63. Uranus . 159
64. Die kleinen Planeten . 160
65. Neptun . 163

Fünftes Capitel.

Die Satelliten.

		Seite
66.	Die Trabanten	165
67.	Scheinbare Bahn des Mondes	165
68.	Phasen des Mondes	166
69.	Gestalt der Mondsbahn	169
70.	Sternbedeckungen	171
71.	Parallaxe, Entfernung und Grösse des Mondes	172
72.	Bahn des Mondes im Sonnensystem	174
73.	Mondfinsternisse	176
74.	Die nächsten Mondfinsternisse	181
75.	Sonnenfinsternisse	183
76.	Die nächsten Sonnenfinsternisse	187
77.	Axendrehung des Mondes	187
78.	Libration des Mondes	189
79.	Die Oberfläche des Mondes	191
80.	Darstellungen der Mondoberfläche	194
81.	Die Trabanten des Jupiter	197
82.	Die Trabanten der äussersten Planeten	201

Sechstes Capitel.

Die Kometen und Meteorite.

83.	Eigenthümlichkeiten der Kometen	203
84.	Scheinbare Bahn der Kometen	203
85.	Der Donati'sche Komet	208
86.	Die Ausströmungen der Kometen	210
87.	Wahre Gestalt der Kometenbahnen	214
88.	Wiederkehrende Kometen	220
89.	Die Meteorite	223
90.	Ursprung der Meteorite	224
91.	Beschaffenheit der Meteorite	226
92.	Feuerkugeln	228
93.	Höhe, Geschwindigkeit und Grösse der Feuerkugeln	230
94.	Kosmische Geschwindigkeit der Meteorite	232
95.	Die Lichterscheinung der Meteorite	236
96.	Sternschnuppen	239
97.	Die periodischen Sternschnuppenfälle	240
97.	Die Bahnen der Meteorite im Weltraume	244

Siebentes Capitel.

Die allgemeine Schwere.

98.	Mechanische Erklärung der Planetenbewegung durch Newton	249
99.	Die Planeten werden durch Centralkräfte angetrieben	250
100.	Abnahme der Centralkraft mit wachsender Entfernung von der Sonne	251
101.	Die allgemeine Schwere	254
102.	Masse der Sonne und der Planeten	257
103.	Dichtigkeit der Erde	259

Seite
104. Anwendung der Drehwage zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde . . . 261
105. Dichtigkeit der Weltkörper verglichen mit der des Wassers 266
106. Grösse der Schwerkraft auf der Oberfläche der Sonne und der Planeten . . . 267
107. Die Störungen . . . 268
108. Entdeckung des Neptun . . . 270
109. Störungen der Kometen . . . 271
110. Störungen der Mondsbahn . . . 272
111. Ebbe und Fluth . . . 274
112. Mechanische Erklärung der Ebbe und Fluth . . . 276
113. Erklärung der Präcession . . . 279

Achtes Capitel.

Ortsveränderungen der Fixsterne.

114. Fortschreitende Bewegung einzelner Sterne am Fixsternhimmel . . 283
115. Jährliche Parallaxe der Fixsterne . . . 284
116. Grösse der jährlichen Parallaxe und Entfernung der Fixsterne . . . 285
117. Doppelsterne . . . 289
118. Fortschreiten unseres ganzen Planetensystems im Weltraume . . . 291

Zweites Buch.

Kosmische und atmosphärische Lichterscheinungen.

Erstes Capitel.

Das Licht der Himmelskörper und seine Verbreitung im Weltraume.

119. Sonnenflecken . . . 295
120. Die physische Beschaffenheit der Sonne . . . 297
121. Die Sonnenatmosphäre . . . 301
122. Physische Constitution der Sonne . . . 308
123. Das Zodiacallicht . . . 311
124. Photometrische Vergleichung der Fixsterne . . . 314
125. Bestimmung des Durchmessers der kleinen Planeten . . . 319
126. Veränderliche Sterne . . . 322
127. Temporäre Sterne . . . 324
128. Farbige Sterne . . . 325
129. Ansehen der Sterne mit blossem Auge und mit dem Fernrohre betrachtet . . . 326
130. Anwendung des Polariskops zur Prüfung des Lichtes der Gestirne . 327
131. Milchstrasse, Nebelflecken und Sternhaufen . . . 328
132. Die Spectra der Fixsterne und der Nebelflecken . . . 334
133. Das Spectrum der Kometen . . . 339
134. Spectralapparate ohne Ablenkung . . . 341
135. Einfluss der räumlichen Bewegung der Sterne auf ihr Spectrum . 344
136. Geschwindigkeit des Lichtes . . . 348
137. Aberration des Lichts . . . 351

Zweites Capitel.

Atmosphärische Lichterscheinungen.

Seite
136. Atmosphärische Refraction 354
137. Das Funkeln der Sterne 357
138. Unvollkommene Durchsichtigkeit der Luft 358
139. Der Durchsichtigkeits-Coëfficient 360
140. Methoden und Messungen von De la Rive und Wild 362
141. Durchsichtigkeit und Farbe des Wassers 369
142. Die allgemeine Tageshelle 372
143. Die Farbe des Himmels 373
144. Erklärung der blauen Farbe des Himmels und des Abendrothes . . 374
145. Atmosphärische Linien 378
146. Polarisation des blauen Himmels 381
147. Die Polaruhr 384
148. Polarisation des blauen Wassers 385
149. Die Dämmerung 387
150. Luftspiegelung 390
151. Die Kimmung 394
152. Der Regenbogen 397
153. Secundäre Regenbogen 403
154. Höfe 405
155. Ringe und Nebensonnen 414

Drittes Buch.

Die calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre.

Erstes Capitel.

Verbreitung der Wärme auf der Erde.

156. Die Meteorologie 419
157. Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen 421
158. Die fünf Zonen 422
159. Die tägliche Periode 423
160. Die Jahreszeiten 424
161. Modification normaler Temperaturverhältnisse 426
162. Thermometer-Beobachtungen 428
163. Maximum- und Minimum-Thermometer 431
164. Die registrirenden Instrumente 434
165. Die täglichen Variationen der Lufttemperatur 440
166. Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres 443
167. Jahresisothermen 447
167. Monatsisothermen 453
168. Die jährlichen Variationen der Lufttemperatur 460
169. Thermische Isanomalen 466
170. Land- und Seeklima 468
171. Ursachen der Krümmung der Isothermen 471

Seite
172. Abweichungen vom normalen Gange der Wärme 473
173. Gleichzeitige Witterungsverhältnisse verschiedener Gegenden . . . 475
174. Veränderlichkeit monatlicher Mittel 480
175. Seculare Variationen des Klimas 486
176. Abnahme der Temperatur in höheren Luftregionen 489
177. Temperaturschwankungen in höheren Luftregionen 493
178. Temperaturverhältnisse der Hochebenen 495
179. Die Schneegränze . 496
180. Die Gletscher . 500
181. Regelation . 505
182. Die Gletscherbewegung . 508
183. Moränen und Gletscherschliffe 512
184. Die Gletscher verschiedener Gegenden 516
185. Die Eiszeit . 518
186. Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre 520
187. Die nächtliche Strahlung . 527
188. Temperatur des Bodens . 530
189. Innere Erdwärme . 535
190. Vulcane . 537
191. Erdbeben . 539
192. Quellentemperatur . 543
193. Die periodischen Springquellen Islands 544
194. Erklärung des Geysirphänomens 548
195. Die heissen Quellen Neuseelands 552
196. Temperatur der Seen und Flüsse 558
197. Temperatur der Meeresoberfläche 560
198. Temperatur der Meerestiefen 562
199. Das Eismeer . 563

Zweites Capitel.

Das Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen.

200. Die Lufthülle der Erde . 569
201. Die Variationen des Barometerstandes 570
202. Tägliche Variationen des Barometers 572
203. Jährliche Periode der Barometerschwankungen 577
204. Einfluss der Höhe über dem Meeresspiegel auf die periodischen Schwankungen des Barometers 578
205. Mittlere monatliche Schwankungen 580
206. Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres 582
207. Barometrische Höhenmessung 582
208. Höhe der Atmosphäre . 586
209. Abweichung barometrisch berechneter Höhen von den wahren . . 586
210. Ursachen der Barometerschwankungen 594
211. Atmosphärische Ebbe und Fluth 597
212. Entstehung der Winde . 599
213. Passatwinde und Moussons . 601
214. Winde in höheren Breiten . 604
215. Gesetz der Winddrehung . 606
216. Barometrische und thermometrische Windrose 608
217. Heisse Winde . 609
218. Stürme . 615
219. Verminderung des Luftdrucks bei Stürmen 616

Seite
220. Richtung der Stürme in der heissen Zone 618
221. Tromben und Wasserhosen . 620
222. Telegraphische Witterungsberichte 622
223. Sturmwarnungen . 627

Drittes Capitel.

Die Hydrometeore.

224. Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft 631
225. Daniel's Hygrometer . 635
226. August's Psychrometer . 639
227. Tägliche Variationen im Wassergehalte der Luft 643
228. Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft 647
229. Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden 647
230. Der Thau . 650
231. Nebel und Wolken . 651
232. Regenmenge . 655
233. Regen zwischen den Wendekreisen 661
234. Hyetographische Karten . 662
235. Die Verdunstung . 663
236. Einfluss des Waldes auf die Regenmenge 667
237. Der Schnee . 669
238. Der Hagel . 671

Viertes Buch.

Die elektrischen und magnetischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche.

Erstes Capitel.

Atmosphärische Elektricität.

239. Entdeckung der atmosphärischen Elektricität 683
240. Feste Sammelapparate für atmosphärische Elektricität 685
241. Beobachtung schwacher Luftelektricität 686
242. Atmosphärische Elektricität an verschiedenen Localitäten 691
243. Die Luftelektricität bei verschiedenem Zustande des Himmels . . . 692
244. Periodische Veränderungen der atmosphärischen Elektricität . . . 693
245. Elektrische Erscheinungen auf der Cheopspyramide 695
246. Quelle der Luftelektricität . 696
247. Elektricität der Gewitterwolken 698
248. Die Blitzableiter . 700
249. Galvanische Prüfung der Blitzableiter 703
250. Wirkungen der Gewitter auf elektrische Telegraphen 706
251. Geographische Verbreitung der Gewitter 708
252. Aeusserer Charakter der Gewitterwolken 710
253. Der Blitz und das Wetterleuchten 711
254. Der Donner . 713
255. Wirkungen des Blitzschlages 714

Zweites Capitel.

Der Erdmagnetismus.

Seite

256. Magnetische Wirkung der Erde im Allgemeinen 722
257. Bestimmung der magnetischen Declination 723
258. Bestimmung der Inclination 728
259. Bestimmung der horizontalen Intensität 731
260. Die magnetischen Constanten verschiedener Orte 734
261. Magnetische Curven . 737
262. Lamont's magnetische Karten 747
263. Theorie des Erdmagnetismus 750
264. Die säcularen Variationen 755
265. Die täglichen Variationen 757
266. Magnetische Störungen . 758
267. Ursache der magnetischen Störungen 762
268. Das Nordlicht . 763
269. Beschreibung eines von Biot beobachteten Nordlichtes 766
270. Beschreibung des grossen Nordlichtes von 1836 767
271. Das Nordlicht vom 24. und 25. October 1870 769
272. Beschreibung der von Lottin zu Bossekop beobachteten Nordlichter 770
273. Beziehungen des Nordlichtes zum Erdmagnetismus 774
274. Höhe, Ausdehnung, geographische Verbreitung und Periodicität der Nordlichter . 775
275. Das Spectrum des Nordlichts 778
276. De la Rive's Theorie des Nordlichts 779

VERZEICHNISS DER OCTAVTAFELN.

Tab. 1 zu Seite 13: Die Sternbilder Orion und Stier.

Tab. 2 zu Seite 13: Die Sternbilder Leyer und Schwan.

Tab. 3 Fig. 1 zu Seite 121: Die scheinbare Bahn der Venus im Jahre 1847.
Fig. 2 zu Seite 148: Scheinbare Bewegung der Venus um die Sonne.

Tab. 4 zu Seite 121 und 134: Ein Stück der scheinbaren Venusbahn im Jahre 1847.

Tab. 5 zu Seite 122: Die scheinbare Bahn des Saturn in den Jahren 1852 und 1853 nebst einem Stück der scheinbaren Merkursbahn im Jahre 1852.

Tab. 6 zu Seite 125: Die seheinbare Bahn des Mars vom 24. October 1870 bis zum 9. Juli 1871.

Tab. 7 Fig. 1 und 2 zu Seite 158: Die verschiedenen Gestalten des Saturnsringes.
Fig. 3 zu Seite 165: Die scheinbare Bahn des Mondes im Januar 1855.

Tab. 8 Fig. 1 zu Seite 170: Die scheinbare Bahn des Mondes zur Zeit, wo sein niedersteigender Knoten mit 0♈ zusammenfällt.
Fig. 2: Die scheinbare Bahn des Mondes zur Zeit, wo sein aufsteigender Knoten mit 0♈ zusammenfällt.

Tab. 9 zu Seite 309: Sonnenprotuberanzen.

Tab. 10 Fig. 1: Das Sonnenspectrum mit den wichtigsten Fraunhofer'schen Linien.
Fig. 2: Das Absorptionsspectrum der Erdatmosphäre (Seite 378).
Fig. 3: Spectrum des Sternes α im Orion (Secchi's erster Typus, Seite 339).
Fig. 4: Spectrum des Sirius (Secchi's dritter Typus).
Fig. 5: Spectrum des Sternes T coronae (Seite 339).
Fig. 6: Die Hauptlinien des Spectrums der Protuberanzen (Seite 304).
Fig. 7: Spectrum des Nebelfleckes im Drachen (Seite 338).
Fig. 8: Spectrum des Nordlichts nach Zöllner (Seite 778).

Tab. 11 Fig. 1 und 2: Demonstrationsfiguren zur Theorie des Regenbogens (Seite 398 und Seite 403).

Tab. 12 Fig. 1 und 2: Der tägliche Gang der Temperatur zu München im Januar und Juli (Seite 440).

Fig. 3: Gang der mittleren täglichen Temperatur zu Frankfurt a. M. im Laufe des Monates Mai (Seite 460).

Fig. 4 Seite 461: Gang der mittleren täglichen Temperatur zu Frankfurt a. M. vom 1. Januar bis zum 9. Februar.

Tab. 13 Seite 460: Der mitttlere jährliche Gang der Temperatur zu Havannah, Palermo, Berlin, Moskau und Jakutzk.

Tab. 14 Fig. 1 Seite 466: Gang der Lufttemperatur zu Frankfurt a. M. im Januar 1853 und 1861.

Fig. 2 und 3: Zusammenstellung je zweier jährlicher Temperaturcurven von Orten, welche nahezu gleiche mittlere Jahreswärme haben, von denen aber der eine dem Seeklima, der andere dem Continentalklima angehört.

Tab. 15 Fig. 1 und 2 Seite 479: Abweichung von der normalen Vertheilung der Wärme in Europa im December 1829 und im Februar 1845.

Tab. 16 Fig. 1 und 2 Seite 480: Abweichung von der normalen Vertheilung der Temperatur in Europa im November 1851 und im Januar 1848.

Tab. 17 zu Seite 490: Abnahme der Temperatur, wie sie bei wachsender Höhe im Jahre 1852 während dreier Luftballon-Fahrten beobachtet wurde.

Tab. 18 Seite 491: Die Jahresisothermen in den Alpen.

Tab. 19 Fig. 1 bis 4 Seite 574: Die täglichen Variationen des Barometers zu Cumana, Calcutta, Padua und Petersburg.

Fig. 5 und 6 Seite 578: Der jährliche Gang des Barometers zu Calcutta und Macao.

Tab. 20 Fig. 1 und 2 Seite 578: Der mittlere jährliche Gang des Barometers zu Paris und zu Petersburg.

Fig. 3 Seite 580: Der tägliche Gang des Barometers zu Zürich und auf dem Faulhorn.

Fig. 4 Seite 582: Der mittlere Stand des Barometers im Niveau des Meeres vom Aequator bis zum 70. Breitegrade.

Fig. 5 Seite 596: Gegensatz im Gange des Barometers und des Thermometers.

Tab. 21 Fig. 1 und 2 zu Seite 644 und Seite 646: Der tägliche Gang der atmosphärischen Feuchtigkeit zu Halle und auf dem Rigi für den Monat Juli.

Fig. 3 und 4 Seite 646: Der tägliche Gang der relativen Feuchtigkeit zu Bern und auf dem Simplon für die Monate Juli und Januar des Jahres 1868.

Tab. 22 Fig. 1 und 2 Seite 666: Verhältniss der Regenmenge zur Verdunstung zu Lausanne für die Jahre 1866 und 1868.

Fig. 3. Die Regenmenge auf dem Bernhardin, auf dem St. Gotthard und zu Altdorf vom 10. September bis zum 11. October 1868 (Seite 660).

Tab. 23 Fig. 1: Tägliche Variationen der Declination zu Göttingen (Seite 757).
Fig. 2 und 3: Terminsbeobachtungen zu Upsala, Göttingen und Mailand (Seite 759).
Tab. 24 Fig. 1: Terminsbeobachtungen zu Upsala, Göttingen, Mailand und dem Cap der guten Hoffnung (Seite 760).
Fig. 2: Störungen der Declinationsnadel zu Alten und zu Upsala während eines Nordlichtes (Seite 761).
Tab. 25: Terminsbeobachtungen zu Toronto, Göttingen und Nertschinsk (Seite 761).

EINLEITUNG.

Es ist die Aufgabe der Experimentalphysik, die Naturkräfte kennen zu lernen und die Gesetze zu erforschen, nach welchen sie wirken; ihren Namen hat die genannte Wissenschaft daher, weil man das eben angedeutete Ziel vorzugsweise durch Versuche, durch Experimente zu erreichen sucht.

Für die Experimentalphysik ist die Erkenntniss der Naturgesetze an und für sich die Hauptsache. Wie sich mit Hülfe dieser Gesetze die Naturerscheinungen im Grossen erklären lassen, kann in dem Vortrage derselben wohl hier und dort als erläuterndes Beispiel besprochen werden, aber eine auch nur einigermaassen vollständige Durchführung nach dieser Seite hin würde der Physik im engeren Sinne des Wortes (das, was man eben Experimentalphysik zu nennen pflegt) eine übermässige, die Uebersicht nur erschwerende Ausdehnung geben.

In der Physik lernen wir das Gesetz der Trägheit und die allgemeinen Gesetze der Bewegung kennen, wie sie durch irgend welche beschleunigenden Kräfte unter dem Einflusse der Trägheit zu Stande kommen; die Bewegungserscheinungen der Himmelskörper aber und ihre mechanische Erklärung gehört der Astronomie an.

Die Experimentalphysik lehrt uns, wie sich die Luft unter dem Einflusse der Wärme ausdehnt und wie die erwärmte Luft in Folge ihres geringeren specifischen Gewichts aufsteigt; wie aber aus der ungleichen Erwärmung der Luftmassen, welche unsere Erdkugel einhüllen, die Winde entstehen, wie sich die Windverhältnisse verschiedener Gegenden gestalten, wie der Passatwind in der Nähe der Wendekreise und wie das Gesetz der Winddrehung in höherer Breite zu erklären sei, kann in der Experimentalphysik selbst nicht erörtert werden, die Untersuchung dieser Gegenstände gehört einem besonderen Zweige der physikalischen Wissenschaften, der Meteorologie, an.

Ebenso behandelt die Meteorologie die Wolken- und Nebelbildung, den Regen, die Thaubildung u. s. w., während die Experimentalphysik die Grundlage zur Erklärung dieser Phänomene liefert,

nämlich die Gesetze der Dampfbildung, der Condensation des Wasserdampfes und die Gesetze der strahlenden Wärme.

Eine ausführliche Betrachtung der meteorologischen und astronomischen Erscheinungen kann der Experimentalphysik eben so wenig einverleibt werden, als eine specielle Besprechung der technischen Anwendung physikalischer Gesetze.

Wie man reine und angewandte Mathematik unterscheidet, so könnte man auch reine und angewandte Physik unterscheiden; die kosmische und die technische Physik sind wohl die wichtigsten Zweige der letzteren.

Die kosmische Physik, welche die Astronomie und die Meteorologie umfasst, soll die Naturerscheinungen im Grossen verfolgen und sie, so weit als möglich, auf physikalische Gesetze zurückführen; — sie hat also zu zeigen, wie dieselben Kräfte, welche die Experimentalphysik uns kennen lehrt, in der ganzen Schöpfung zur Wirkung kommen, wie dieselben Gesetze, die wir im physikalischen Cabinet erforschen, das ganze Weltall beherrschen.

Da also die kosmische Physik gleichsam eine Anwendung der Physik zur Erklärung der Erscheinungen ist, welche wir in den Himmelsräumen und auf der Erdoberfläche beobachten, so werden auch die einzelnen Abschnitte, in welche sie zerfällt, den Hauptabtheilungen der Experimentalphysik: Mechanik, Optik, Wärme und Elektricität, entsprechen; das vorliegende Werk besteht demnach aus vier Büchern, deren Inhalt in Kürze folgender ist:

Das erste Buch bespricht die Bewegungserscheinungen der Himmelskörper und ihre mechanische Erklärung.

Das zweite Buch behandelt die kosmischen und atmosphärischen Lichterscheinungen.

Das dritte Buch beschäftigt sich mit den calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre.

Den Gegenstand des vierten Buches endlich bilden die Erscheinungen der Luftelektricität und des Erdmagnetismus.

ERSTES BUCH.

BEWEGUNGSERSCHEINUNGEN

DER

HIMMELSKÖRPER

UND IHRE

MECHANISCHE ERKLÄRUNG.

Erstes Capitel.

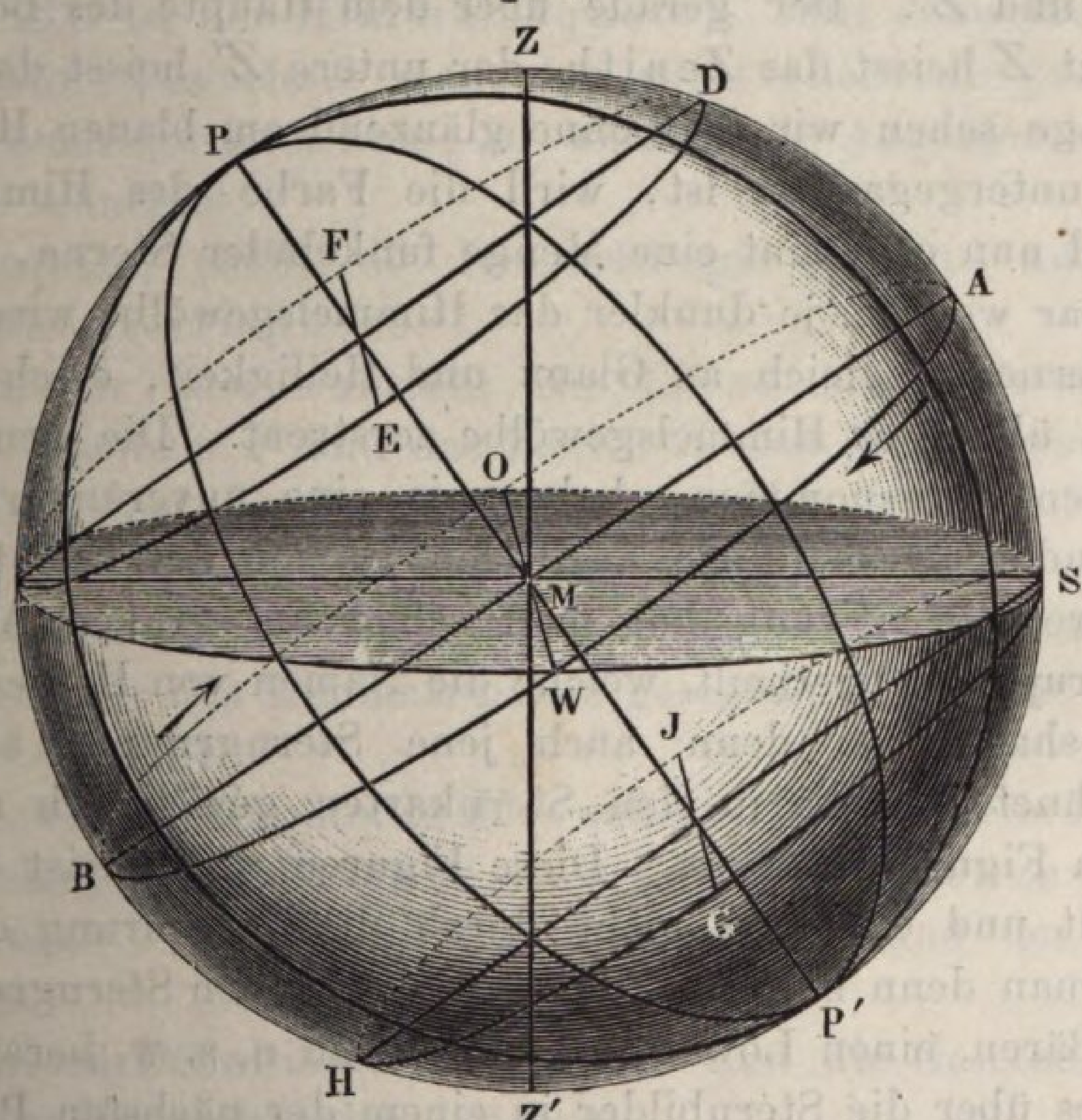
Der Fixsternhimmel und seine tägliche Bewegung.

Das Himmelsgewölbe. Der Himmel erscheint uns, wenn er 1
nicht durch Wolken verdeckt ist, als eine ungeheure Hohlkugel, von welcher wir jedoch nie mehr als die Hälfte auf einmal übersehen können. In einer ganz flachen Gegend oder auf dem Meere erscheint uns die Oberfläche der Erde als eine Ebene, welche von der sichtbaren Hälfte der Himmelskugel überwölbt ist. Wir befinden uns scheinbar in der Mitte dieser Ebene und in dem Mittelpunkte des Himmelsgewölbes.

Die durch das Auge des Beobachters gelegte wagerechte Ebene, welche die sichtbare Hälfte der Himmelskugel von der unsichtbaren scheidet, heisst der Horizont.

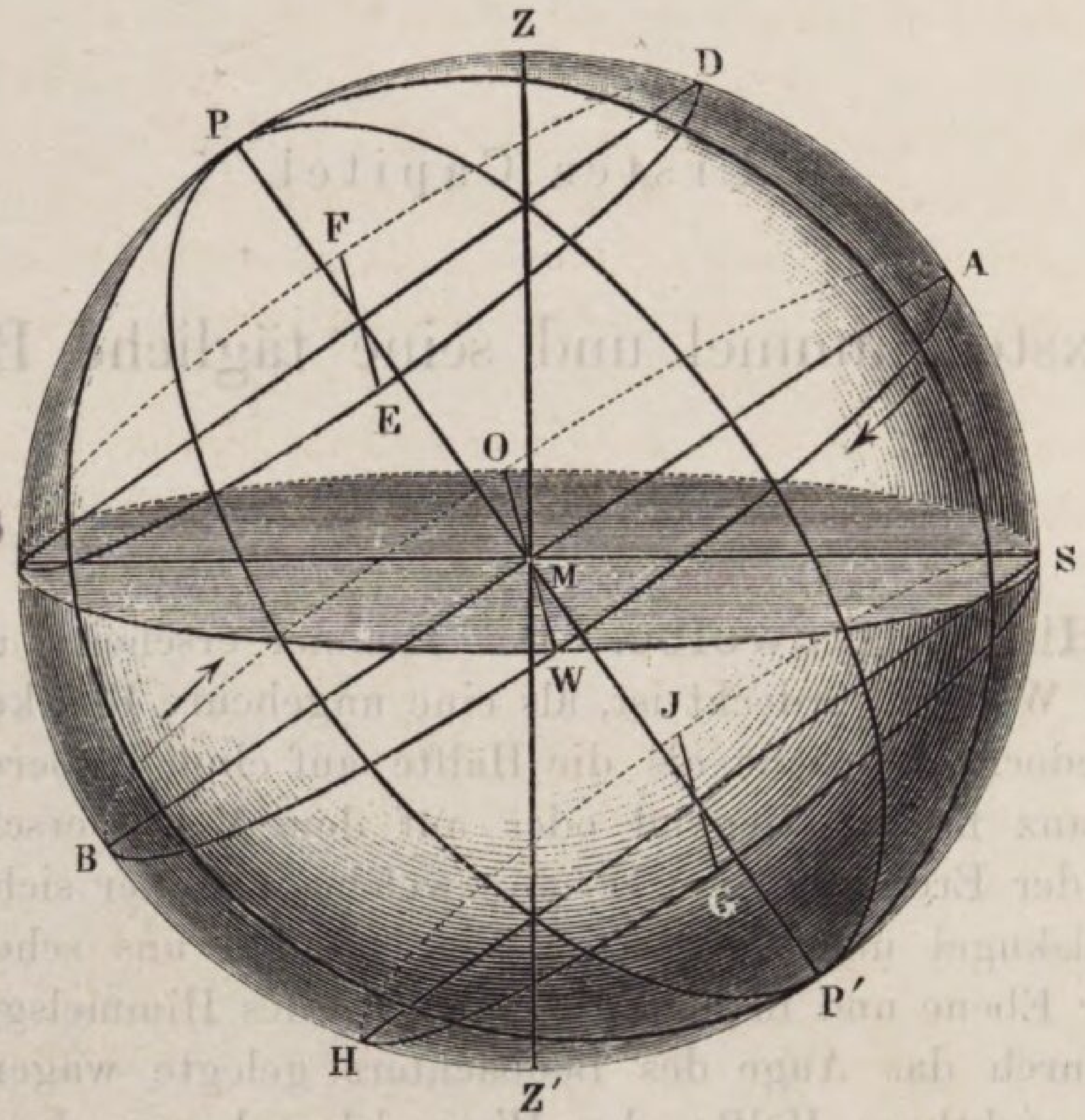
Fig. 1 stellt die Himmelskugel dar. *M* ist der Standpunkt des

Fig. 1.



Beobachters, der Mittelpunkt der Hohlkugel. — *NOSW* ist die durch den Mittelpunkt *M* gelegte Horizontalebene. Die obere Hälfte der Kugel sei die sichtbare, die untere die unsichtbare Hemisphäre des Himmels.

Fig. 2.



Denken wir uns durch *M* eine Linie gezogen, welche auf dem Horizont rechtwinklig steht, so trifft diese Linie die Himmelskugel in den Punkten *Z* und *Z'*. Der gerade über dem Haupte des Beobachters liegende Punkt *Z* heisst das Zenith, der untere *Z'* heisst das Nadir.

Bei Tage sehen wir die Sonne glänzend am blauen Himmel stehen; sobald sie untergegangen ist, wird die Farbe des Himmels allmälig dunkler und nun erscheint eine Menge funkelnder Sterne, deren um so mehr sichtbar werden, je dunkler das Himmelsgewölbe wird.

Die Sterne, ungleich an Glanz und Helligkeit, erscheinen uns unregelmässig über das Himmelsgewölbe zerstreut. Die wenigen Planeten und Kometen ausgenommen, haben sie eine unveränderliche Stellung gegen einander, weshalb sie auch den Namen der Fixsterne führen. Zur leichteren Orientirung hat man schon im grauen Alterthume die Sterne in Gruppen abgetheilt, welche die Namen von Heroen, Thieren etc. führen, weshalb man denn auch jene Sterngruppen als Sternbilder bezeichnet und sie in den Sternkarten gewöhnlich mit den entsprechenden Figuren bedeckt. Diese Figuren sind meist ganz willkürlich gewählt und durchaus nicht durch die Gruppirung der Sterne bedingt, wie man denn z. B. aus den entsprechenden Sterngruppen schwerlich einen Bären, einen Löwen, eine Jungfrau u. s. w. herausfinden wird.

Näheres über die Sternbilder in einem der nächsten Paragraphen.

Tägliche Bewegung der Gestirne. Obgleich die gegensei- 2
tige Stellung der Fixsterne unter einander eine unveränderliche ist, so ändert sich doch beständig ihre Stellung gegen die Erdoberfläche, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man, ohne seinen Beobachtungsort zu ändern, nur etwa eine halbe Stunde lang die Stellung irgend eines Sternes gegen eine Bergspitze, einen Thurm oder sonst einen festen Punkt auf der Erboberfläche beobachtet.

Weit auffallender als mit blossem Auge erscheint diese eigene Bewegung der Gestirne, wenn man sie durch stark vergrössernde Fernröhre betrachtet. In kurzer Zeit hat der Stern das Gesichtsfeld des Fernrohres durchwandert.

Diese allen Fixsternen gemeinschaftliche Bewegung ist nun von der Art, dass es scheint, als drehe sich die ganze Himmelskugel sammt allen Sternen in je 24 Stunden um eine feste Axe, welche den Namen der Weltaxe führt.

Im mittleren Deutschland macht diese Weltaxe PP' (Fig. 2) einen Winkel von 50^0 mit dem Horizont, und dieser Winkel PMN, welcher, wie wir bald sehen werden, für verschiedene Orte auf der Erde sehr verschiedene Werthe hat, wird mit dem Namen der Polhöhe bezeichnet. Die Punkte P und P', in welchen die Weltaxe das Himmelsgewölbe trifft, sind die Pole des Himmels. Der in Deutschland sichtbare Himmelspol P ist der Nordpol des Himmels. Die Polhöhe eines Ortes auf der Erdoberfläche ist also der Winkel, welchen die vom Auge des Beobachters nach dem sichtbaren Pole des Himmels gerichtete Visirlinie mit der Horizontalebene macht.

Eine rechtwinklig auf die Weltaxe durch den Punkt M gelegte Ebene $AWBO$ ist der Himmelsäquator. Mit demselben Namen des Himmelsäquators bezeichnet man aber nicht allein die genannte Ebene, sondern oft auch die Kreislinie, in welcher die Aequatorebene das Himmelsgewölbe schneidet.

Der Aequator theilt die Himmelskugel in eine nördliche und eine südliche Hemisphäre.

Denken wir uns senkrecht zur Ebene des Horizonts durch den Nordpol des Himmels P und das Zenith Z eine Ebene gelegt, so ist dies der Meridian, und die Durchschnittslinie NS des Meridians mit dem Horizont ist die Mittagslinie des Beobachtungsortes M.

Die Mittagslinie trifft die Himmelskugel in den Punkten N und S. Der dem Nordpole des Himmels näher gelegene, N, ist der Nordpunkt, S ist der Südpunkt.

Stellt sich der Beobachter in M so auf, dass er Norden im Rücken, Süden aber vor sich hat, so liegt Osten zu seiner Linken, Westen zu seiner Rechten.

Die Punkte O und W sind der Ostpunkt und der Westpunkt des Himmels.

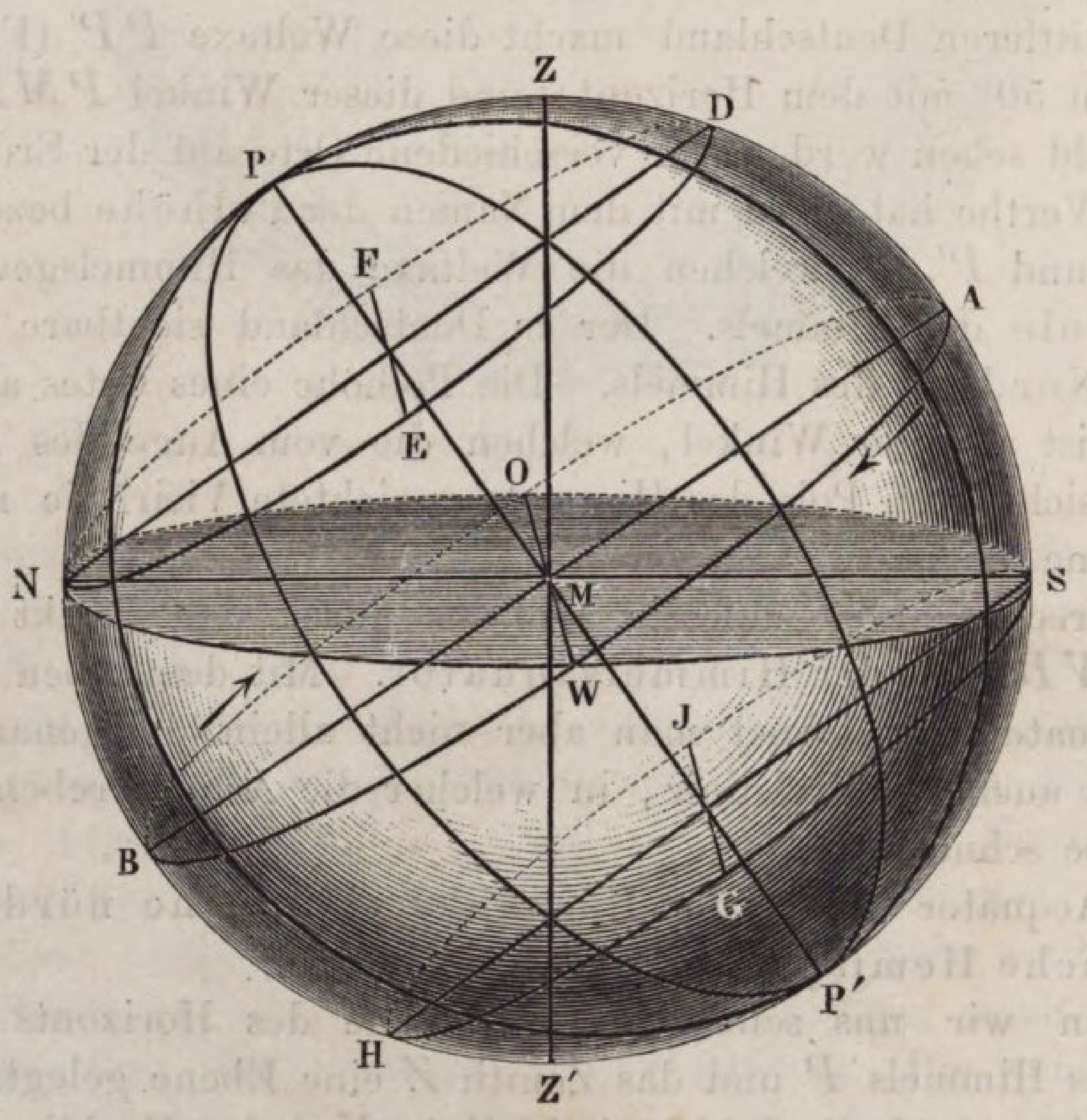
Nach diesen Definitionen können wir nun die Gesetze der täglichen Bewegung des Himmels näher erörtern.

Die scheinbare Drehung der Himmelskugel findet in der Richtung von Osten nach Westen, also in der Richtung der Pfeile in unserer Figur, Statt. Auf der Ostseite steigen die Gestirne auf, sie erreichen im Meridian ihre grösste Höhe und gehen dann auf der Westseite wieder nieder. Wenn ein Stern gerade im Meridian steht, so sagt man, dass er culminirt.

Während der täglichen Umdrehung beschreiben die in der Nähe des Pols P liegenden Sterne, welche man Circumpolarsterne nennt, nur kleine Kreise um denselben. In unseren Gegenden liegen die Kreise, welche die Circumpolarsterne beschreiben, ganz über dem Horizont; diese Sterne gehen also nicht auf und nicht unter.

Ein 50^0 vom Nordpol rechtwinklig auf die Weltaxe stehender Kreis $DENF$, Fig. 3, schneidet denjenigen Theil des Himmels ab, dessen

Fig. 3.



Sterne im mittleren Deutschland stets über dem Horizonte bleiben. Diesem Kreise entsprechend ist auf der Südhälfte der Himmelskugel ein Kreis $SGHJ$ gezogen, welcher den bei uns stets unsichtbaren Theil des Himmels abschneidet.

Diejenigen Sterne, welche beständig über dem Horizonte bleiben, passiren während 24 Stunden zweimal sichtbar den Meridian, einmal, wenn sie auf der Ostseite des Himmels aufsteigend ihren höchsten Punkt erreicht haben, und dann, wenn sie nach ihrem Niedergange auf der Westseite des Himmels in ihrer tiefsten Stellung angekommen sind.

Die Circumpolarsterne haben also eine sichtbare obere und eine sichtbare untere Culmination.

Alle Sterne, welche sich auf der durch die Kreise *DENF* und *SGHJ* begränzten Zone befinden, beschreiben Bahnen, welche theils oberhalb, theils unterhalb des Horizontes liegen: alle auf dieser Zone liegenden Sterne gehen also auf und unter. Derjenige Theil einer Sternbahn, welcher über dem Horizonte liegt, heisst der Tagbogen, der unterhalb des Horizontes liegende Theil dagegen ist der Nachtbogen.

Für alle Sterne, welche auf dem Himmelsäquator liegen, ist der Tagbogen dem Nachtbogen gleich. In unseren Gegenden ist der Tagbogen für die auf der nördlichen, der Nachtbogen für die auf der südlichen Hemisphäre liegenden Sterne grösser.

Die auf- und untergehenden Sterne gehen allerdings auch während jeder Umdrehung der Himmelskugel zweimal durch die Ebene des Meridians, aber nur ihre obere Culmination ist sichtbar.

Die bisher besprochenen Erscheinungen der täglichen Bewegung des Himmels lassen sich sehr gut mit Hülfe eines Himmelsglobus, Fig. 4, anschaulich machen. Auf einem passenden Gestelle ist ein messingener Ring *MM'* eingesetzt, innerhalb dessen eine um die Axe *PQ* drehbare Kugel *A* angebracht ist. Auf dieser Kugel sind die verschiedenen Sterne und Sternbilder in gehöriger gegenseitiger Stellung verzeichnet. *PQ* stellt die Weltaxe, *HH'* die Ebene des Horizontes dar. Um die Erscheinungen nachzuahmen, wie sie im mittleren Deutschland beobachtet werden, hat man nur den Ring *M* so zu stellen, dass die Axe *PQ* um 50° gegen den Horizont geneigt ist, d. h. dass der Bogen von *P* bis *H* 50° beträgt. Um eine gehörige Einstellung möglich zu machen, ist der Ring *MM'* in Grade eingetheilt.

Fig. 4.



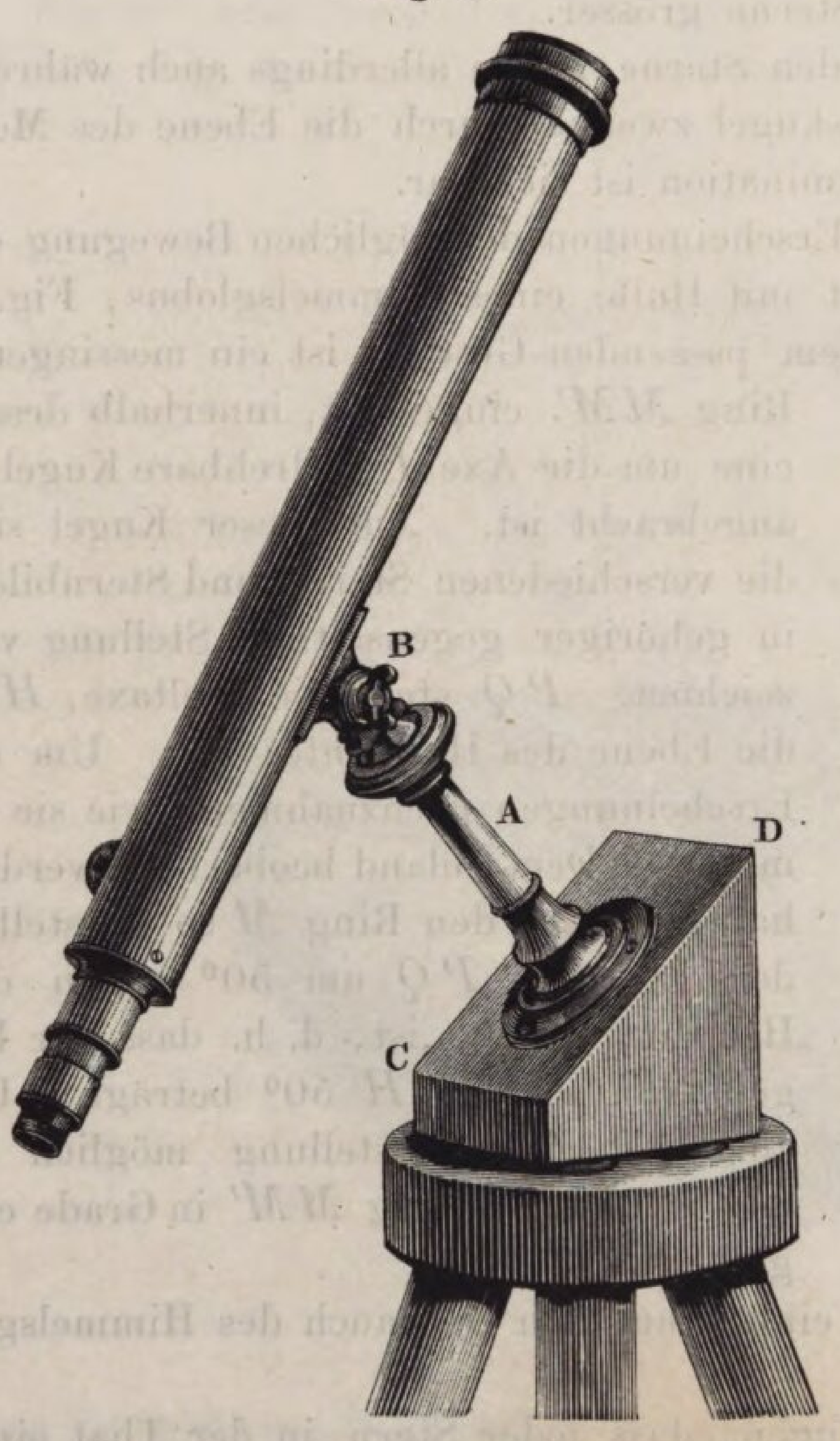
Wir werden später noch einmal auf den Gebrauch des Himmelsglobus zurückkommen.

Um sich davon zu überzeugen, dass jeder Stern in der That einen Kreis um die Weltaxe beschreibt, braucht man nur ein Fernrohr so aufzustellen, dass es sich um eine feste Axe drehen lässt, deren Richtung mit der Weltaxe parallel ist. Fig. 5 (a. f. S.) zeigt eine hierzu geeignete Vorrichtung. Von dem gewöhnlichen Stativ eines Fernrohrs, welches eine Drehung um eine verticale und um eine horizontale Axe erlaubt, sind die Füsse weggenommen und die sonst vertical stehende Säule *A* rechtwinklig auf der schrägen Fläche *CD* eines Klotzes befestigt, welche mit dem Horizonte einen ebenso grossen Winkel macht wie der

Himmelsäquator. Stellt man nun den Apparat so auf, dass die Fläche CD dem Himmelsäquator parallel ist, so fällt die Axe BA mit der Richtung der Himmelsaxe zusammen. Richtet man alsdann das Fernrohr auf irgend einen Stern, schraubt man dann die Schraube B fest zu, so dass der Winkel, welchen das Fernrohr mit der Säule A macht, sich nicht mehr ändern kann, so braucht man das Fernrohr nur langsam um die Axe A zu drehen, um den Stern beständig im Gesichtsfelde zu behalten.

Bei dieser Umdrehung beschreibt die Visirlinie des Fernrohres eine Kegelfläche und der Durchschnitt dieser Kegelfläche mit dem Himmelsgewölbe ist ein Kreis, welcher mit dem Himmelsäquator parallel läuft. Aus diesem Grunde sagt man auch, dass ein Fernrohr, welches in der erwähnten Weise aufgestellt ist, parallaktisch aufgestellt sei.

Fig. 5.



Wir werden später zweckmässigere und vollkommnere Formen parallaktischer Aufstellung kennen lernen.

3 **Sternzeit.** Die Zeit, welche zwischen je zwei auf einander folgenden oberen Culminationen eines und desselben Fixsternes vergeht, wird ein Sterntag genannt.

Der Sterntag wird in 24 Stunden, jede dieser Stunden in 60 Minuten, jede Minute in 60 Secunden getheilt.

Die mittlere Sonnenzeit, nach welcher unsere gewöhnlichen Uhren gehen, ist von der eben erwähnten Sternzeit verschieden; denn die Zeit, welche von einer Sonnenculmination bis zur nächsten vergeht, ist, wie wir bald sehen werden, grösser als ein Sterntag.

Ein Sterntag ist nach mittlerer Sonnenzeit gleich 23 Stunden 56′ und 4,09″, woraus sich folgende Vergleichung der Sternzeit und der mittleren Sonnenzeit ergiebt:

Sternzeit.	Mittlere Zeit.
1^h	$0^h\ 59'\ 50{,}17''$
$1'$	$59{,}81$

und

Mittlere Zeit.	Sternzeit.
1^h	$1^h\ 0'\ 9{,}86''$
$1'$	$1\ 0{,}16$

Auf Sternwarten werden nicht allein Uhren gebraucht, welche nach mittlerer Sonnenzeit, sondern auch solche, welche nach Sternzeit gehen.

Die Sternzeit könnte man von der Culmination irgend eines beliebigen Sternes zählen, was aber in der That nicht geschieht; denn die Astronomen zählen den Sterntag von der Culmination eines bestimmten, später näher zu definirenden Punktes auf dem Himmelsäquator an, welcher den Namen des **Frühlingspunktes** führt und an dessen Stelle gerade kein Stern steht. Vorläufig mag nur bemerkt werden, dass der Frühlingspunkt derjenige ist, in welchem die Sonne im März den Himmelsäquator passirt.

Hier mag auch die Bemerkung Platz finden, dass die Astronomen ihren Sonnentag von Mittag zu Mittag zählen und nicht, wie es im bürgerlichen Leben geschieht, von Mitternacht zu Mitternacht, und dass sie ferner die 24 Stunden ununterbrochen fortzählen, und zwar beginnen sie ihren Tag am Mittag des gleichnamigen bürgerlichen Tages.

Die folgende kleine Tabelle enthält für verschiedene Stunden eines beliebigen Sonnentages die entsprechende Bezeichnung nach astronomischer und bürgerlicher Zeitrechnung.

Astronomische Zeit.	Bürgerliche Zeit.
6ten März 0^h	6ten März 12^h Mittags
„ „ 4	„ „ 4 Nachmittags
„ „ 8	„ „ 8 Abends
„ „ 12	7ten März 0 Mitternacht
„ „ 16	„ „ 4 Morgens
„ „ 20	„ „ 8 Morgens

Sternbilder. Für Jeden, welcher die astronomischen Erschei- 4
nungen studiren will, ist es von grosser Wichtigkeit, zunächst die Bühne kennen zu lernen, auf welcher alle jene Erscheinungen vor sich gehen,

also sich am Fixsternhimmel zu orientiren, d. h. sich wenigstens mit den ausgezeichneteren Sternen und ihrer gegenseitigen Stellung bekannt zu machen.

Die Zahl der im mittleren Europa mit blossem Auge sichtbaren Fixsterne beträgt ungefähr 3250. Nach der Stärke ihres Glanzes hat man sie in sechs Classen abgetheilt, so dass die hellsten als Sterne erster Grösse bezeichnet werden, während man die schwächsten, die einem guten Auge noch erkennbaren, Sterne sechster Grösse nennt. Unter den im mittleren Deutschland sichtbaren Sternen giebt es

14	Sterne	erster	Grösse
51	„	zweiter	„
153	„	dritter	„
325	„	vierter	„
810	„	fünfter	„
1871	„	sechster	„
15	„	veränderlicher	Grösse.

Dazu kommt aber noch eine ungeheure Anzahl von Sternen, welche nur durch Fernröhre sichtbar sind und welche teleskopische Sterne genannt werden.

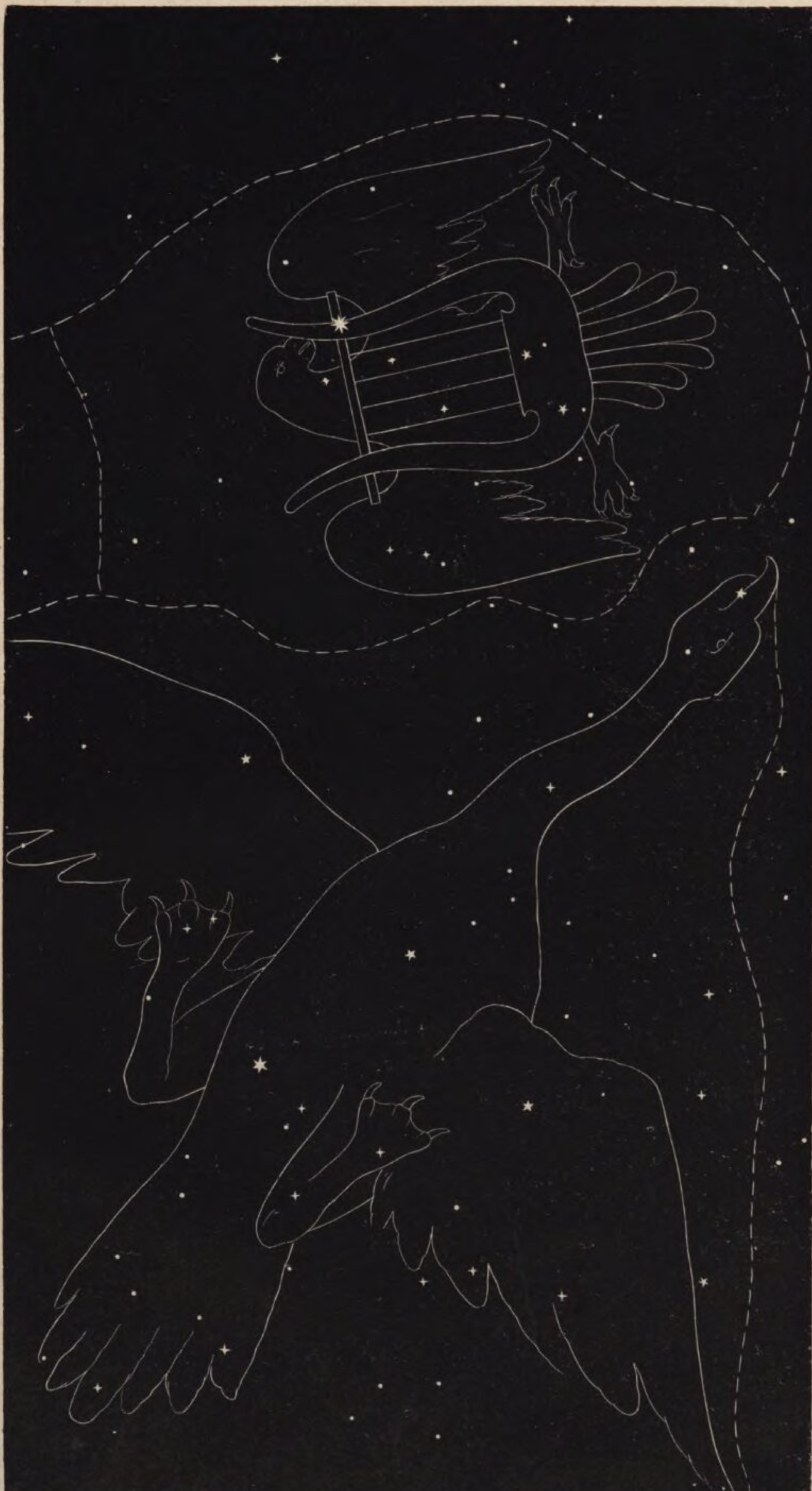
Die Zahl der im mittleren Europa sichtbaren Sternbilder beträgt 57, wenn man einige kleinere in späteren Zeiten auf Kosten der älteren eingeführten unberücksichtigt lässt. Die Namen dieser Sternbilder sind:

der kleine Bär,	der Widder,	Eridanus,
Cassiopeia,	der Stier,	der Hase,
Kamelopard,	Orion,	die Taube,
der Drache,	die Zwillinge,	das Einhorn,
Cepheus,	der kleine Hund,	der grosse Hund,
Perseus,	der Krebs,	das Schiff Argo,
der Fuhrmann,	der grosse Löwe,	Hydra,
der Luchs,	der kleine Löwe,	der Becher,
der grosse Bär,	der Sextant,	die Jungfrau,
die Jagdhunde,	das Haar der Berenice,	der Rabe,
Bootes,	die Schlange,	der Centaur,
die nördliche Krone,	Ophiuchus,	die Wage,
Hercules,	der Adler,	der Wolf,
die Leyer,	der Fuchs,	der Scorpion,
der Schwan,	der Pfeil,	der Schütze,
die Eidechse,	der Delphin,	das Schild des Sobieski,
Andromeda,	das Füllen,	der Steinbock,
die Fische,	Pegasus,	der Wassermann,
der Triangel,	der Walfisch.	der südliche Fisch.

Die Karte Tab. I. des Atlasses zeigt in Polarprojection die Sternbilder der nördlichen Hemisphäre bis zu einer Entfernung von 60° vom Nordpol des Himmels, welcher den Mittelpunkt dieser Karte bildet.

Die Karte Tab. II. zeigt in Aequatorialprojection den Theil des Him-

Tab. 2.



Tab. 1.



mels, welcher von zwei rechtwinklig auf der Weltaxe stehenden Kreisen begränzt ist, von denen der eine 50⁰ nördlich, der andere 50⁰ südlich vom Himmelsäquator liegt, es kommen also die Sterne am oberen Rande von Tab. II. auch am äusseren Rande von Tab. I. vor; am unteren Ende von Tab. II. befinden sich aber Sterne, welche im mittleren Europa nie über den Horizont kommen.

In diesen Karten sind die Sterne erster bis fünfter Grösse eingetragen, und zwar die Sterne erster Grösse als 8seitige Sternchen, die Sterne zweiter, dritter und vierter Grösse als 6seitige, 5seitige und 4seitige Sternchen; die Sterne fünfter Grösse endlich als blosse Punkte.

Die Sternkarten Tab. I. und Tab. II. enthalten nur die Sterne selbst, um nicht durch Weiteres die Uebersichtlichkeit der Constellation zu stören. Die Abtheilung der Sternbilder, die Namen derselben, die Bezeichnung der einzelnen Sterne u. s. w. findet man auf den Sternkarten Tab. III. und Tab. IV., welche, wie man sich leicht überzeugen kann, den Karten Tab. I. und Tab. II. vollkommen entsprechen.

Ein auf der Karte Tab. III. mit dem Radius 50⁰ gezogener Kreis begränzt den Theil des Himmels, dessen Sterne für das mittlere Deutschland nicht auf- und nicht untergehen.

Die Kärtchen Tab. I. und Tab. II. sind freilich etwas zu klein, um ein recht treues Bild des gestirnten Himmels geben und sie unmittelbar mit demselben vergleichen zu können, ich habe deshalb grosse Sternkarten im fünffachen Maassstabe der Tab. I. und Tab. II. anfertigen lassen (Verlag von Fr. Wagner in Freiburg). In diesen grossen Sternkarten sind die Sterne gleichfalls weiss auf dunklem Grunde eingedruckt, der Aequator aber, die Ekliptik und die Gränzen der Sternbilder sind durch eingedruckte rothe Linien bezeichnet, durch welche der Totaleindruck der Sternconstellationen nicht gestört wird.

Tab. 1 und Tab. 2*) stellen einzelne sternreiche Gegenden des Himmels in etwas grösserem Maassstabe sammt den gebräuchlichen Figuren dar, und zwar Tab. 1 die Sternbilder Orion und Stier, Tab. 2 Leyer und Schwan.

Bezeichnung der einzelnen Sterne. Die auffallenderen 5
Sterne waren schon von den Alten mit besonderen Namen belegt worden, wie z. B. Sirius, Capella, Regulus u. s. w.; andere Namen einzelner Sterne rühren von den Arabern her, wie Deneb, Aldebaran, Rigel u. s. w. Da jedoch die Zahl der einzelnen Sterne viel zu gross ist, um jedem einen eigenen Namen beilegen zu können, ohne dass alle Uebersichtlichkeit verloren ginge, so haben die Astronomen seit Bayer und Doppelmayr die einzelnen Sterne jedes Sternbildes mit griechi-

*) Während der Atlas die grösseren Tafeln enthält, ist eine Reihe kleinerer dem Text unmittelbar angehängt. Zum Unterschied sollen die Tafeln des Atlasses mit lateinischen, die kleineren, dem Text angehängten Tafeln aber mit arabischen Ziffern bezeichnet werden.

schen oder lateinischen Buchstaben bezeichnet, und zwar so, dass man den hellsten Stern des Sternbildes α, den folgenden β u. s. w. nannte. Später musste man jedoch auch noch zu Zahlen seine Zuflucht nehmen.

Die bei uns sichtbaren Sterne erster Grösse sind:

1) Nördlich vom Aequator.

Wega oder α der Leyer.
Capella oder α des Fuhrmanns.
Arcturus oder α des Bootes.
Aldebaran oder α des Stiers.
Regulus oder α des grossen Löwen.
Atair oder α des Adlers.
Pollux oder β der Zwillinge.
Procyon oder α des kleinen Hundes.
Beteigeuze oder α des Orion.

2) Südlich vom Aequator.

Rigel oder β des Orion.
Sirius oder α des grossen Hundes (der hellste Fixstern).
Spica oder α der Jungfrau.
Antares oder α des Scorpions.
Fomalhaut oder α des südlichen Fisches.

Von Manchen wird auch noch Deneb oder α des Schwans zu den Sternen erster Grösse gerechnet.

Es wird keine Schwierigkeit haben, diese Sterne auf den Karten Tab. I. und Tab. II., sowie auch auf Tab. III. und Tab. IV. aufzufinden.

Unter den Sternen zweiter Grösse ist hervorzuheben:

α ursae minoris oder der Polarstern.

Algenib oder α des Perseus, der nördliche von den beiden Sternen zweiter Grösse, welche unsere Karte in diesem Sternbilde zeigt. Der andere als ein Stern zweiter Grösse bezeichnete ist Algol oder β des Perseus, der Hauptstern im Haupte der Medusa. Algol, ist veränderlich, er wechselt zwischen zweiter und vierter Grösse.

Der grosse Bär enthält sechs Sterne zweiter Grösse, welche mit einem Stern dritter Grösse die Constellation Fig. 6 bilden, welche die Alten auch den Wagen nannten. Die Sterne δ, ε, ζ und η bilden den Schwanz des grossen Bären. Alle diese sieben Sterne führen auch arabische Namen; so heisst α des grossen Bären auch Dubhe; Merak und Mizar sind die arabischen Namen für β und ζ ursae majoris.

Im grossen Löwen finden sich ausser einem Sterne erster Grösse, dem Regulus, noch drei Sterne zweiter Grösse, von denen der östliche β leonis auch den Namen Denebola führt.

In der Nähe des schon erwähnten Pollux im Sternbilde der Zwillinge, und zwar nordwestlich von demselben, findet sich α geminorum oder Castor, ein Stern zweiter Grösse.

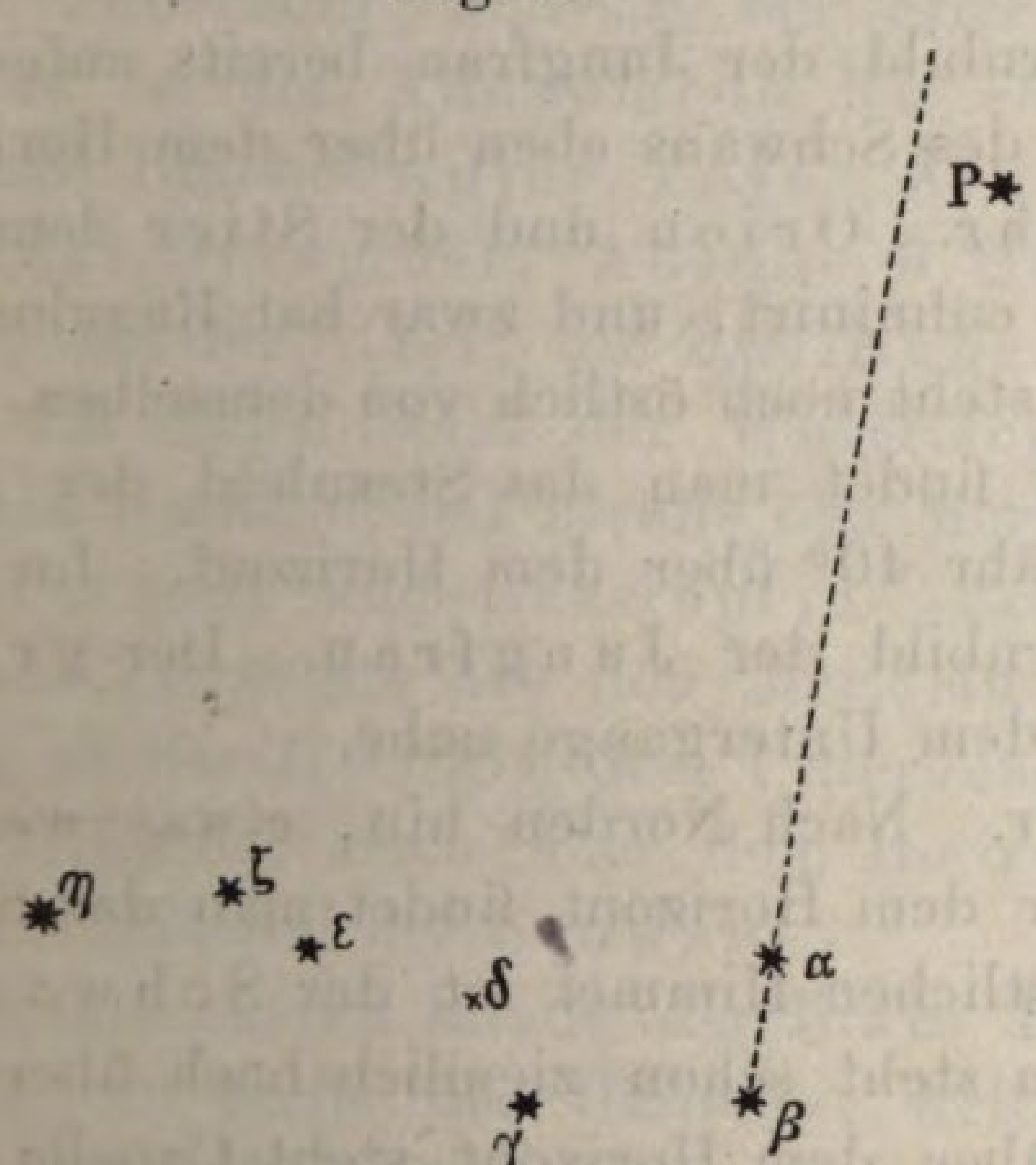
Zu den schönsten Sternbildern des Himmels gehören Orion und der Stier, welche in Tab. 1 besonders dargestellt sind. Wie bereits oben erwähnt wurde, sind im Orion zwei Sterne erster Grösse, Rigel und Beteigeuze, im Stier aber einer, nämlich Aldebaran. Im Orion bilden drei nahe zusammenstehende Sterne zweiter Grösse eine fast gerade Linie (den Jacobsstab oder den Gürtel des Orion), welche nach Osten hin verlängert etwas über dem Sirius hinläuft.

Das Sternbild des Stieres ist besonders durch zwei Sterngruppen, die Hyaden und die Plejaden (das Siebengestirn oder die Gluckhenne), ausgezeichnet, deren schon Homer Erwähnung thut. Die Hyaden, zunächst bei Aldebaran, bilden mit demselben ein Dreieck; nordwestlich davon stehen die Plejaden, ein dicht gedrängter Sternhaufen, in dessen Mitte sich Alcyone, ein Stern dritter Grösse, befindet.

Wir werden später noch auf die Eigenthümlichkeiten einzelner Fixsterne zurückkommen.

Orientirung am Himmel. Um sich am gestirnten Himmel zu 6
orientiren, geht man gewöhnlich vom Sternbilde des grossen Bären aus, welches durch die ausgezeichnete Constellation, Fig. 6, am nördlichen Himmel zu allen Jahreszeiten leicht aufgefunden werden kann. Denkt man sich die Linie, welche die Sterne α und β verbindet, in der Richtung von β über α hinaus verlängert, so geht dieselbe nahe bei einem Sterne P vorbei, welcher ungefähr $5^1/_2$ Mal so weit von α absteht als β. Dieser Stern ist der Polarstern, (α des kleinen Bären), welcher nahezu genau nördlich vom Beobachter steht.

Fig. 6.



Hat man einmal den grossen Bären und den Polarstern am Himmel aufgefunden, so geben diese Sterne den Ausgangspunkt zu einer weiteren Orientirung am Himmel und zur Aufsuchung der übrigen Sternbilder. Eine öfters wiederholte Vergleichung guter Sternkarten und Himmelsgloben mit dem gestirnten Himmel selbst ist das beste Mittel, die einzelnen Sternbilder kennen zu lernen.

Um eine solche Orientirung zu erleichtern, mag hier noch angeführt werden, an welcher Stelle des Himmels Abends um 9 Uhr die wichtigsten Sternbilder zu finden sind.

In der Mitte Januar steht um 9 Uhr Abends der Stier und Orion am südlichen Himmel; Aldebaran hat bereits den Meridian

passirt und Rigel ist der Culmination nahe. Am südöstlichen Himmel ist Sirius leicht aufzufinden. Dem Zenith sehr nahe steht Capella im Sternbild des Fuhrmanns. Eine gerade Linie von Rigel über Beteigeuze führt zum Sternbild der Zwillinge, welches durch die beiden Sterne Castor und Pollux leicht kenntlich ist. Am nordöstlichen Himmel geht der grosse Löwe auf. Regulus steht schon ungefähr 20^0 über dem Horizont. Etwas westlich vom Nordpunkt ist Wega eben über dem Horizont sichtbar.

Unterhalb des Horizontes befinden sich um diese Zeit unter anderen die Sternbilder Jungfrau, Scorpion, Schütze, Adler, Delphin u. s. w.

In der bezeichneten Abendstunde hat in der Mitte Februar Sirius bereits culminirt und Orion steht westlich, Castor und Pollux in einer Höhe von etwa 70 Graden noch etwas östlich vom Meridian. Nach Nordnordwesten hin steht α des Schwans dem Horizont nahe. Am östlichen Himmel ist das Sternbild des Löwen jetzt ganz sichtbar, indem Denebola gerade nach Osten hin schon ungefähr 25^0 über dem Horizont steht. Am westlichen Himmel findet man das Sternbild des Widders ungefähr 30^0 über dem Horizont. Im Nordosten ist Arcturus im Sternbild des Bootes eben aufgegangen.

Mitte März, Abends 9 Uhr. Der Widder dem Untergang nahe; Stier und Orion am westlichen Himmel, Regulus der Culmination nahe. Im Osten ist Spica im Sternbild der Jungfrau bereits aufgegangen. Gerade nach Norden steht α des Schwans eben über dem Horizont.

Mitte April, Abends 9 Uhr. Orion und der Stier dem Untergang nahe; der grosse Löwe culminirt, und zwar hat Regulus den Meridian bereits passirt. Denebola steht noch östlich von demselben. Zwischen Aldebaran und Regulus findet man das Sternbild der Zwillinge am westlichen Himmel ungefähr 40^0 über dem Horizont. Im Südosten des Himmels steht das Sternbild der Jungfrau. Der grosse Bär steht fast im Zenith. Sirius dem Untergange nahe.

Mitte Mai, Abends 9 Uhr. Nach Norden hin, etwas westlich vom Meridian und noch 20^0 über dem Horizont, findet man das Sternbild der Cassiopeia. Am nordöstlichen Himmel ist der Schwan bereits ganz aufgegangen, und Wega steht schon ziemlich hoch über dem Horizont. Etwas weniger hoch über dem Horizont steht Capella nach Nordwesten hin. Am westlichen Himmel findet man die Zwillinge und den kleinen Hund. Spica nähert sich dem Meridian. Etwas weiter davon entfernt, aber höher, findet sich Arcturus im Sternbild des Bootes.

Mitte Juni, Abends 9 Uhr. Arcturus hat den Meridian bereits passirt und steht ungefähr 60^0 über dem Horizont. Am westlichen Himmel ist der grosse Löwe sichtbar. Die Zwillinge sind zum Theil schon untergegangen, aber Castor und Pollux noch sichtbar. Am südwestlichen Himmel steht das Sternbild der Jungfrau. Am östlichen Himmel findet man den Delphin, den Adler, den Schwan und die Leyer. Am südöstlichen Himmel steht Antares im Sternbild des Scorpions.

Mitte Juli, Abends 9 Uhr. Antares hat bereits den Meridian passirt. Regulus ist dem Untergange nahe. Spica steht am südwestlichen Himmel. Gerade nach Norden hin Capella fast am Horizont. Hoch am östlichen Himmel stehen Delphin, Adler, Schwan und Leyer.

Mitte August, Abends 9 Uhr. Spica eben untergehend, der Scorpion 30^0 westlich vom Meridian nahe über dem Horizont. Bootes am westlichen Himmel. Wega culminirt, beinahe 80^0 über dem Horizont, etwas östlich davon steht der Schwan.

Mitte September, Abends 9 Uhr. Delphin und α des Schwans culminiren, am westlichen Himmel steht Arcturus dem Horizont nahe; am nordöstlichen Himmel sieht man Capella in geringer Höhe über dem Horizont.

Mitte October, Abends 9 Uhr. Am westlichen Himmel stehen Adler, Schwan und Leyer. Aldebaran und die Plejaden sind im Osten bereits aufgegangen.

Mitte November, Abends 9 Uhr. Gerade nach Norden hin steht der grosse Bär in seiner tiefsten Stellung. Cassiopeia beginnt zu culminiren. Orion ist im Osten, und etwas mehr nach Norden hin sind die Zwillinge aufgegangen. Ausserdem stehen am östlichen Himmel der Fuhrmann, Perseus, der Stier, und mehr nach Süden hin der Wallfisch. α der Andromeda hat eben den Meridian passirt. Am westlichen Himmel Adler, Leyer, Schwan u. s. w.

Mitte December, Abends 9 Uhr. Am östlichen Himmel glänzen Orion, der Stier, die Zwillinge, der Fuhrmann mit der Capella. Im Süden steht der Wallfisch. Der Widder, ungefähr 60^0 über dem Horizont, hat bereits den Meridian passirt. Dem Zenith nahe stehen Perseus und Cassiopeia. Ersteres Sternbild ist der Culmination nahe, letzteres hat den Meridian bereits passirt. Am westlichen Himmel ist der Delphin dem Untergange nahe, mehr nach Norden hin steht die Leyer noch über dem Horizont und zwischen beiden etwas höher am Himmel der Schwan.

Die am oberen Rande der Karte Tab. IV. notirten Monatstage bezeichnen die Stelle des Himmels, welche an den genannten Tagen um Mitternacht culminirt. Zieht man z. B. von dem Punkte des oberen Randes, welcher dem 9. December entspricht, eine verticale Linie herunter, so geht diese durch den Stern β Orionis; Rigel culminirt also um Mitternacht am 9. December.

Ebenso ersieht man aus jener Karte, dass das Sternbild des Scorpions Ende Mai und Anfangs Juni um Mitternacht culminirt.

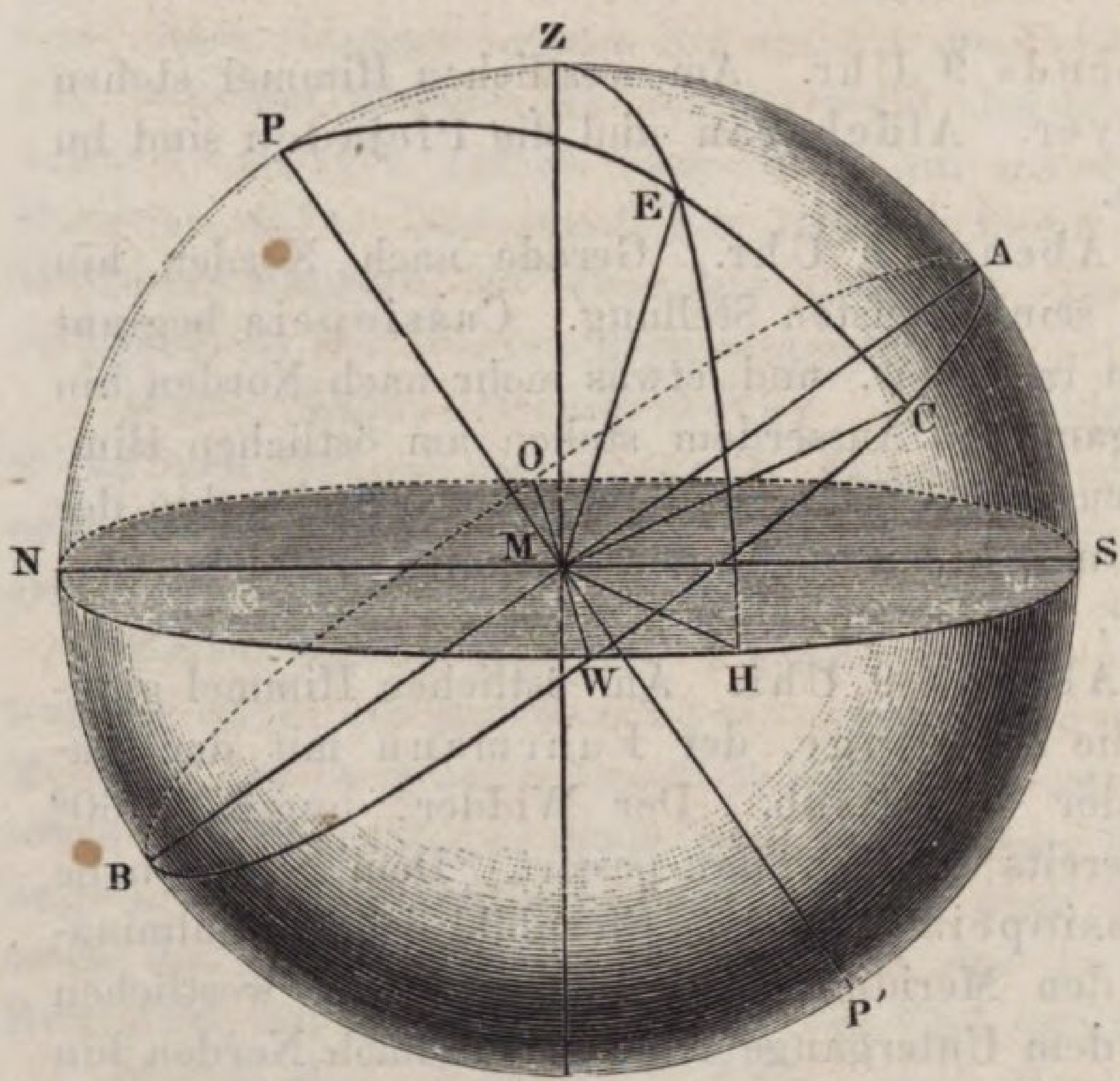
Höhe und Azimut. Um die Stellung eines Gestirns am Him- 7
mel mit der Genauigkeit zu bestimmen, wie es astronomische Zwecke erfordern, genügt es nicht, seine Stellung in einem Sternbilde anzugeben, es genügt z. B. nicht, zu sagen: der oder jener Stern steht im Kopfe des Drachen; der Mond befindet sich eben in der linken Schulter der

Jungfrau u. s. w. Solche Angaben können nur dazu dienen, annähernd den Ort des Gestirns am Himmel zu bezeichnen; eine genaue Ortsbestimmung erfordert mathematische Hülfsmittel.

Um irgend einen Punkt am Himmel mit mathematischer Genauigkeit zu bestimmen, bedarf es vor allen Dingen eines passend gewählten Coordinatensystems, und zwar zeigt sich für astronomische Zwecke ein auf der Oberfläche der Himmelskugel angebrachtes System grösster Kreise als das passendste.

Denken wir uns durch einen Stern E, Fig. 7, den Beobachtungsort M, und das Zenith Z desselben in eine Ebene gelegt, so schneidet diese die Himmelskugel in einem grössten Kreise ZEH, welcher rechtwinklig auf dem Horizonte steht.

Fig. 7.



Alle solche durch das Zenith gelegte, auf dem Horizont rechtwinklig stehende Kreise heissen **Höhenkreise** oder auch **Verticalkreise**.

Der Bogen EH vom Stern E bis zu dem Punkte H, in welchem sein Höhenkreis den Horizont trifft, heisst die **Höhe des Sternes**, der Bogen EZ aber vom Stern zum Zenith heisst die **Zenithdistanz**.

Höhe und Zenithdistanz eines Sternes ergänzen sich zu 90⁰. Ist also die Höhe eines Sternes 60⁰, so ist seine Zenithdistanz 30⁰.

Der Bogen SH vom Südpunkte S des Horizontes bis zum Punkte H, in welchem der Höhenkreis des Sternes E den Horizont trifft, heisst das **Azimut** des Sternes E; das Azimut eines Sternes kann also auch als der Winkel definirt werden, welchen sein Höhenkreis mit der Ebene des Meridians macht.

Das Azimut wird vom Südpunkte S nach Westen hin gezählt. Das Azimut 90⁰ entspricht also dem Westpunkt. Für den Ostpunkt des Horizontes ist das Azimut 270⁰. Ein Höhenkreis, dessen Azimut 315⁰ ist, liegt 45⁰ östlich vom Meridian, er trifft also gerade nach Südosten hin den Horizont.

Durch Höhe und Azimut ist die Stellung eines Sternes vollkommen bestimmt. Eine solche Bestimmung gilt jedoch immer nur für einen gegebenen Zeitmoment; denn in Folge der täglichen Be-

wegung des Himmels ändert sich sowohl Höhe als auch Azimut eines Gestirns in jedem Augenblick.

Um Höhe und Azimut eines Gestirns für einen gegebenen Augenblick ermitteln zu können, ist es vor allen Dingen nöthig, dass die Mittagslinie des Beobachtungsortes mit Genauigkeit bestimmt sei, weil sie ja den Ausgangspunkt zur Messung der Azimute bildet.

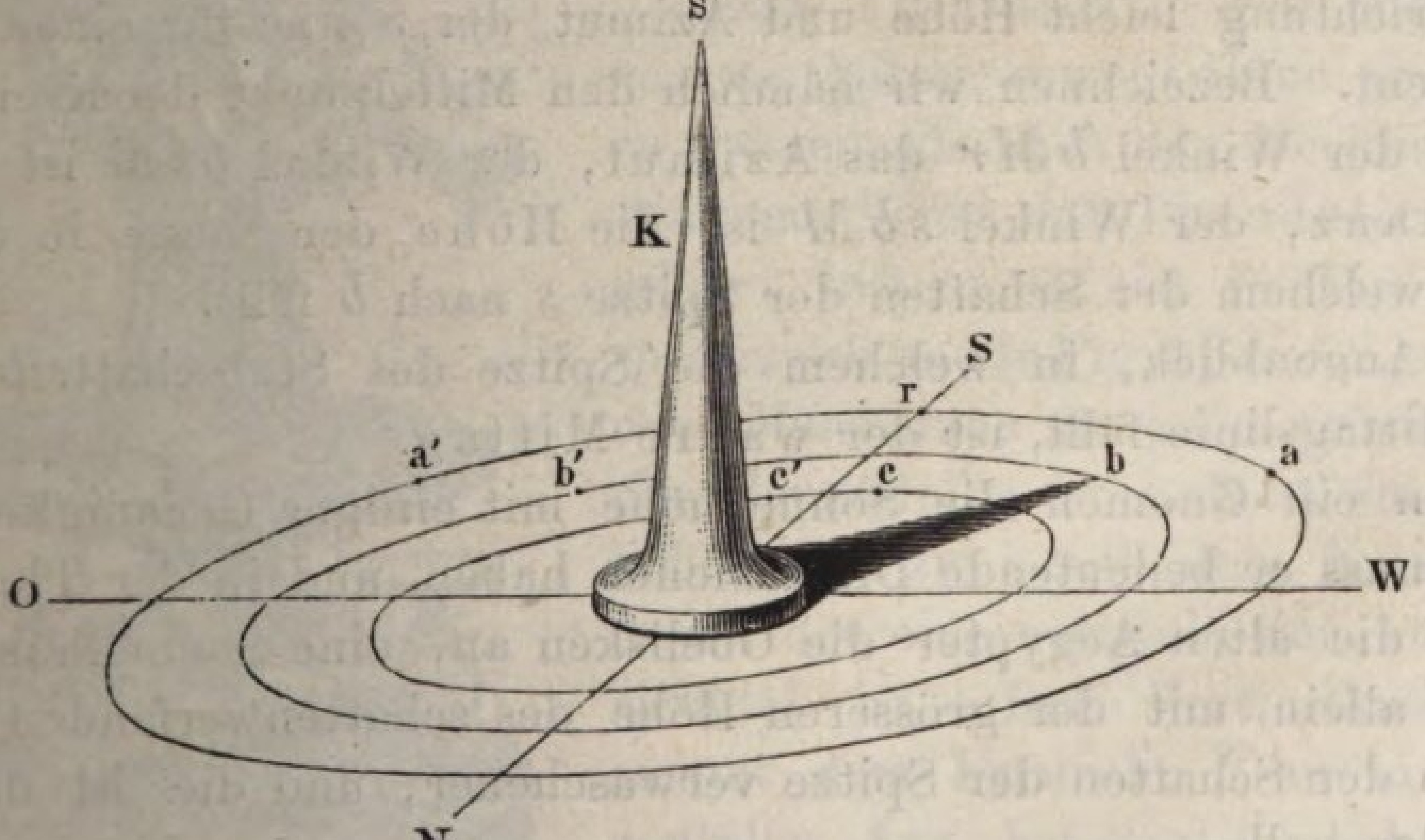
Bestimmung des Meridians. Denkt man sich durch das Auge 8
des Beobachters und ein Gestirn, welches eben culminirt, eine Verticalebene gelegt, so ist dies der Meridian.

In dem Moment, in welchem die Sonne ihre grösste Höhe erreicht, ist der Schatten, welchen ein verticaler Stab auf eine horizontale Ebene wirft, am kürzesten. Um also die Mittagslinie zu bestimmen, hat man nur für den Augenblick, in welchem die Länge des Stabschattens ein Minimum geworden ist, durch das Ende desselben eine gerade Linie nach dem Mittelpunkte des Stabes zu ziehen, so ist dies die Mittagslinie.

Nun aber ändert sich um die Mittagszeit die Länge des Schattens so langsam, dass man nicht erwarten kann, nach der angegebenen Methode die Richtung der Mittagslinie mit einiger Genauigkeit zu bestimmen. Genauer findet man sie auf folgende Weise:

Auf einer horizontalen Ebene (etwa der wagerecht gestellten Ebene eines Messtischblattes) ziehe man eine Reihe concentrischer Kreise und stelle dann einen spitzigen Kegel K von Holz oder Messing so auf, dass der Mittelpunkt seiner Grundfläche mit dem Mittelpunkte der gezogenen Kreise zusammenfällt. Dieser Kegel wirft nun einen Schatten. Zu einer bestimmten Zeit des Vormittags wird die Spitze des Schattens gerade auf den äussersten Kreis fallen, und man bezeichnet nun den Punkt a,

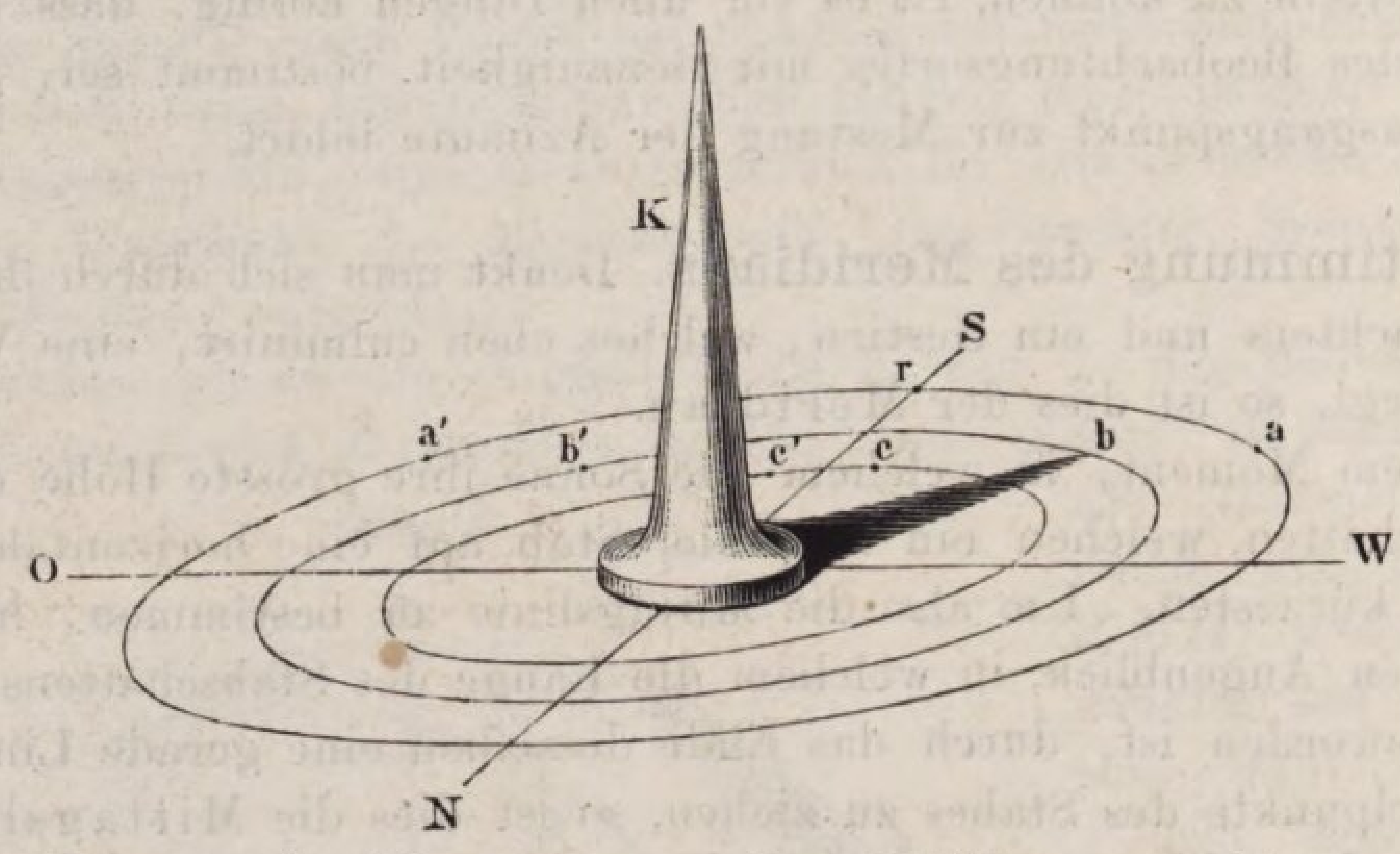
Fig. 8.



wo dies stattfindet. Je mehr die Sonne steigt, desto kürzer wird der Schatten, und so wird denn auch nach und nach die Spitze des Schattens den zweiten, den dritten u. s. w. Kreis treffen, und man bezeichnet jedesmal die Punkte b, c u. s. w., wo dies der Fall ist. In gleicher

Weise bezeichnet man auch des Nachmittags die Punkte c' b' a', in welchen die Spitze des Stabschattens dieselben Kreise trifft. Halbirt man

Fig. 9.



nun den Bogen aa', zieht man von dem Halbirungspunkte r eine Linie nach dem Mittelpunkte der Kreise, so ist dies die Mittagslinie, welche in unserer Figur durch NS bezeichnet ist. In gleicher Weise erhält man sie durch Halbirung des Bogens bb' und des Bogens cc'.

Wären alle Beobachtungen und Halbirungen fehlerlos, so müssten die so bestimmten Mittagslinien genau zusammenfallen. Ist dies nicht der Fall, so nimmt man eine zwischen diesen liegende mittlere Richtung als Mittagslinie an.

Eine solche Vorrichtung, wie überhaupt jede, welche dazu dient, um durch den Schatten irgend eines Körpers die Mittagslinie zu bestimmen oder Sonnenhöhen zu messen, wird ein Gnomon genannt. Ist einmal für einen Gnomon die Mittagslinie bestimmt, so erhält man durch diese Vorrichtung leicht Höhe und Azimut der Sonne für einen gegebenen Moment. Bezeichnen wir nämlich den Mittelpunkt der Kreise durch M, so ist der Winkel bMr das Azimut, der Winkel bsM ist die Zenithdistanz, der Winkel sbM ist die Höhe der Sonne in dem Moment, in welchem der Schatten der Spitze s nach b fällt.

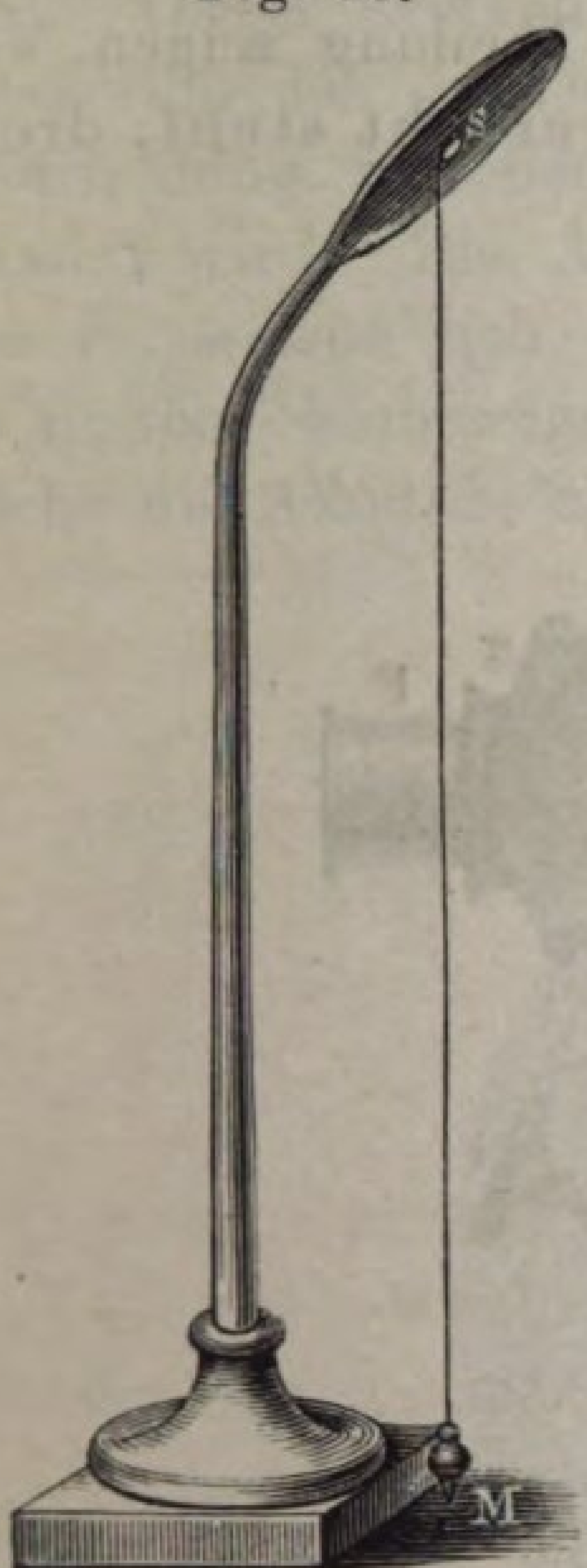
Der Augenblick, in welchem die Spitze des Stabschattens gerade auf die Mittagslinie fällt, ist der wahre Mittag.

Wenn ein Gnomon die Sonnenhöhe mit einiger Genauigkeit geben soll, so muss er bedeutende Dimensionen haben, und in der That wandten auch die alten Aegypter die Obelisken an, eine Sonnenhöhe zu bestimmen; allein mit der grösseren Höhe des schattenwerfenden Körpers wird auch der Schatten der Spitze verwaschener, und dies ist dann eine neue Fehlerquelle.

Um den letzteren Uebelstand zu vermeiden, bringt man an der höchsten Spitze des Gnomons eine mit einer kleinen Oeffnung versehene Metallplatte an. Eine derartige Vorrichtung ist in Fig. 10 dargestellt. Die Scheibe wirft einen Schatten, in dessen Mitte ein rundes, helles

Fleckchen erscheint, welches durch die Oeffnung s hindurch vom Sonnenlicht beschienen wird. Die Mitte dieses erleuchteten Fleckchens, welche sich mit ziemlicher Genauigkeit ermitteln lässt, entspricht der Spitze des Stabschattens in Fig. 9. Ein von der Oeffnung s herabhängendes Bleiloth bezeichnet den Punkt M auf der horizontalen Ebene, welcher gerade senkrecht unter s liegt. Die Länge Ms entspricht dann der Länge des verticalen Stabes, welcher den gewöhnlichen Gnomon bildet.

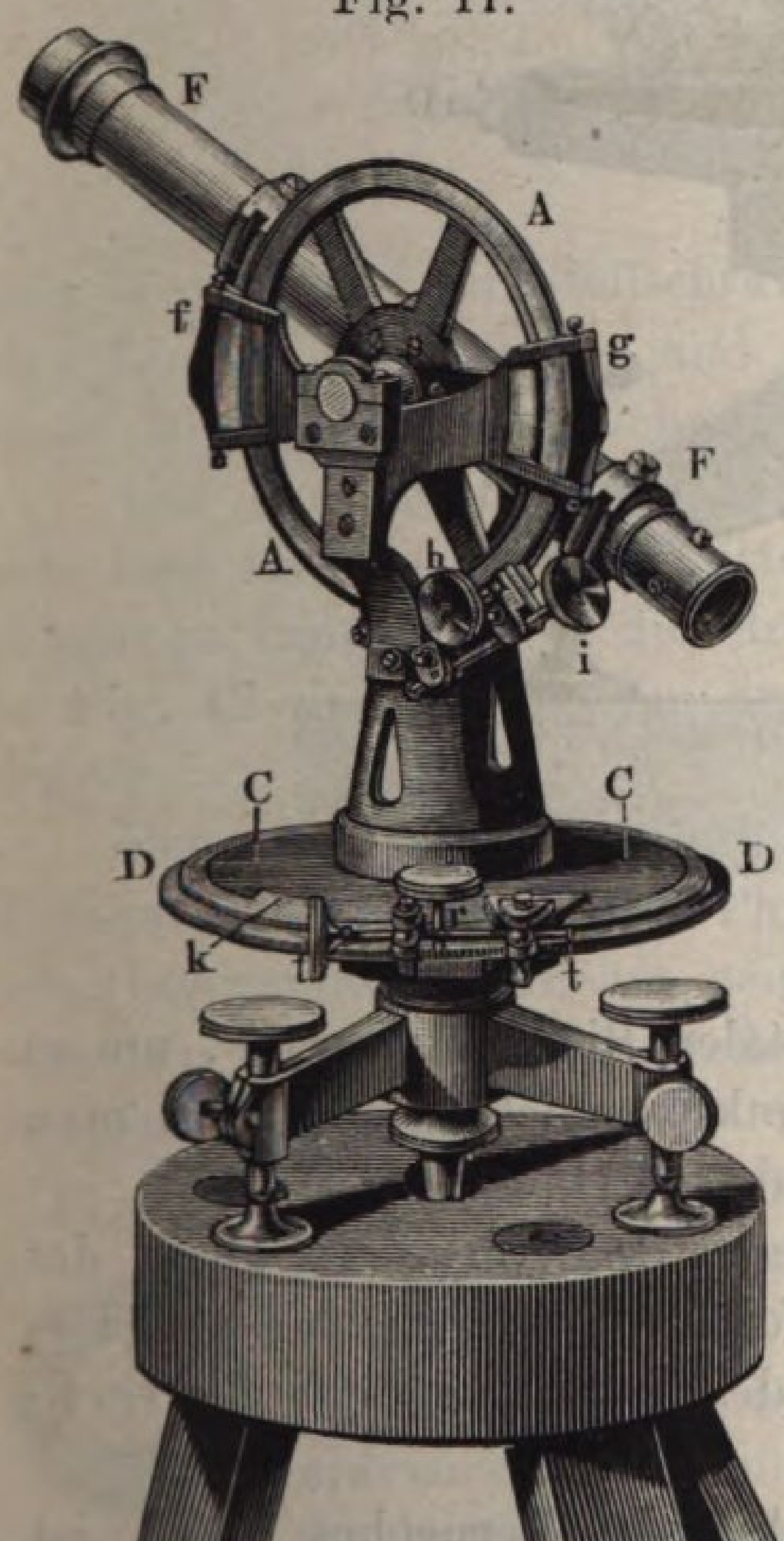
Fig. 10.



Auch nach diesem Princip hat man Gnomone im grossen Maassstabe ausgeführt, indem man die durchbohrte Metallplatte in der Wand oder in der Decke eines grossen, innen freien Gebäudes, etwa einer Kirche, anbrachte und das Bild der Sonne auf den gegenüberliegenden Fussboden fallen liess. Einen solchen Gnomon errichtete Paul Toscanelli im Jahre 1467 in der Kuppel des Domes zu Florenz. Die Oeffnung war 277 Fuss über dem Fussboden der Kirche angebracht.

In älteren Sternwarten findet man noch solche Gnomone, in neueren Zeiten hat man sie verlassen, weil man jetzt weit genauere Mittel hat, die Richtung der Mittagslinie zu bestimmen und Sonnenhöhen zu messen.

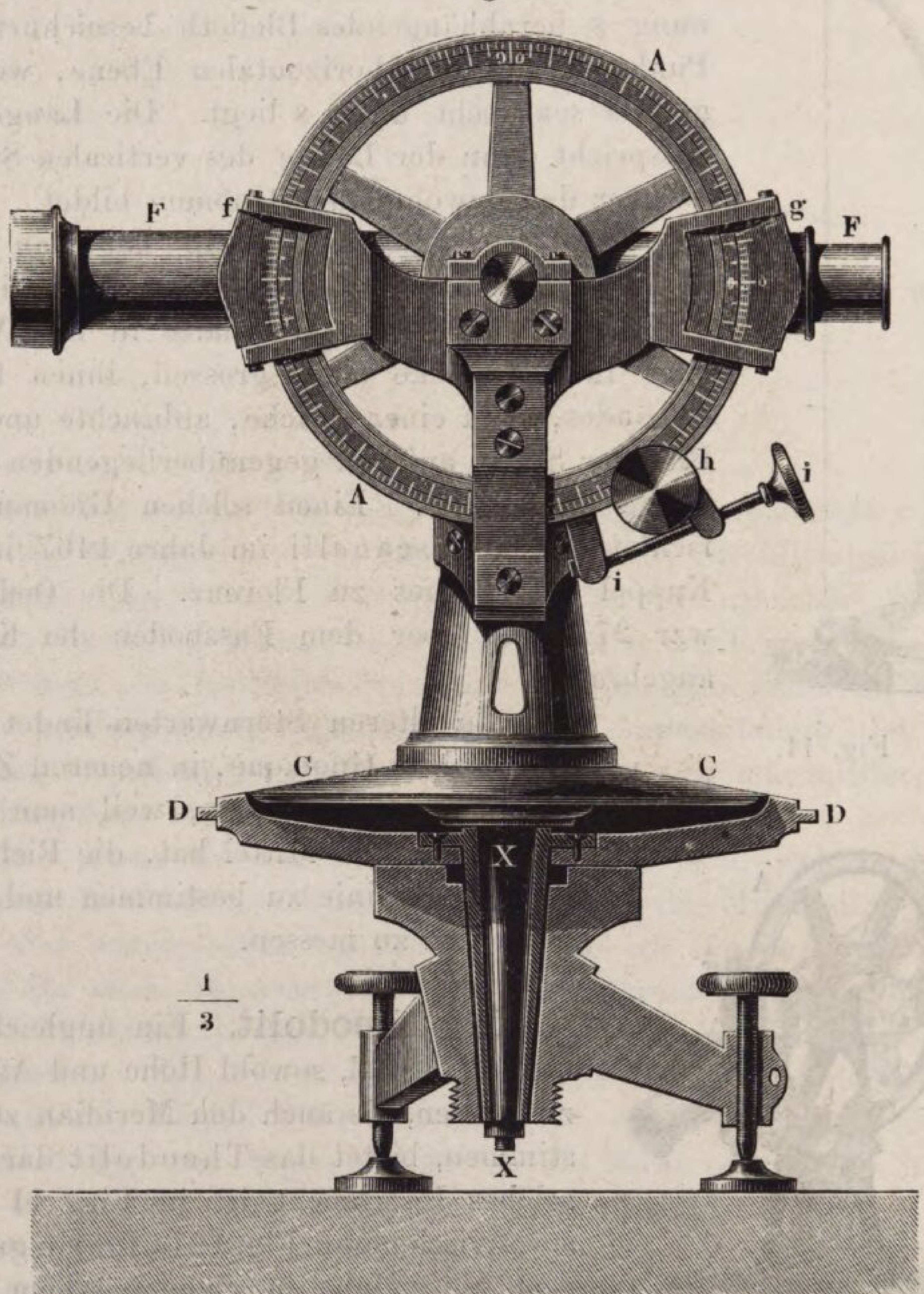
Fig. 11.



Das Theodolit. Ein ungleich ge- 9
naueres Mittel, sowohl Höhe und Azimut zu messen, als auch den Meridian zu bestimmen, bietet das Theodolit dar. Ein solches Instrument ist in Fig. 11 perspectivisch und in Fig. 12 (a. f. S.) in grösserem Maassstabe in geometrischem Aufriss dargestellt; es besteht im Wesentlichen aus zwei getheilten Kreisen, von denen der eine vertical, der andere horizontal ist. Der Verticalkreis A ist sammt dem Fernrohr F an einer horizontalen Axe befestigt und beide sind um diese Axe drehbar, so dass die gegenseitige Stellung des getheilten Verticalkreises und des Fernrohrs nicht geändert werden kann. Zu beiden Seiten des

drehbaren Kreises sind feste Nonien f und g angebracht. Wenn das Instrument gehörig aufgestellt und justirt ist, sollen die Nullpunkte der Nonien g und f auf die Punkte 0 und 180 der Theilung zeigen, sobald die Axe des Fernrohrs vollkommen wagerecht steht; dreht

Fig. 12.



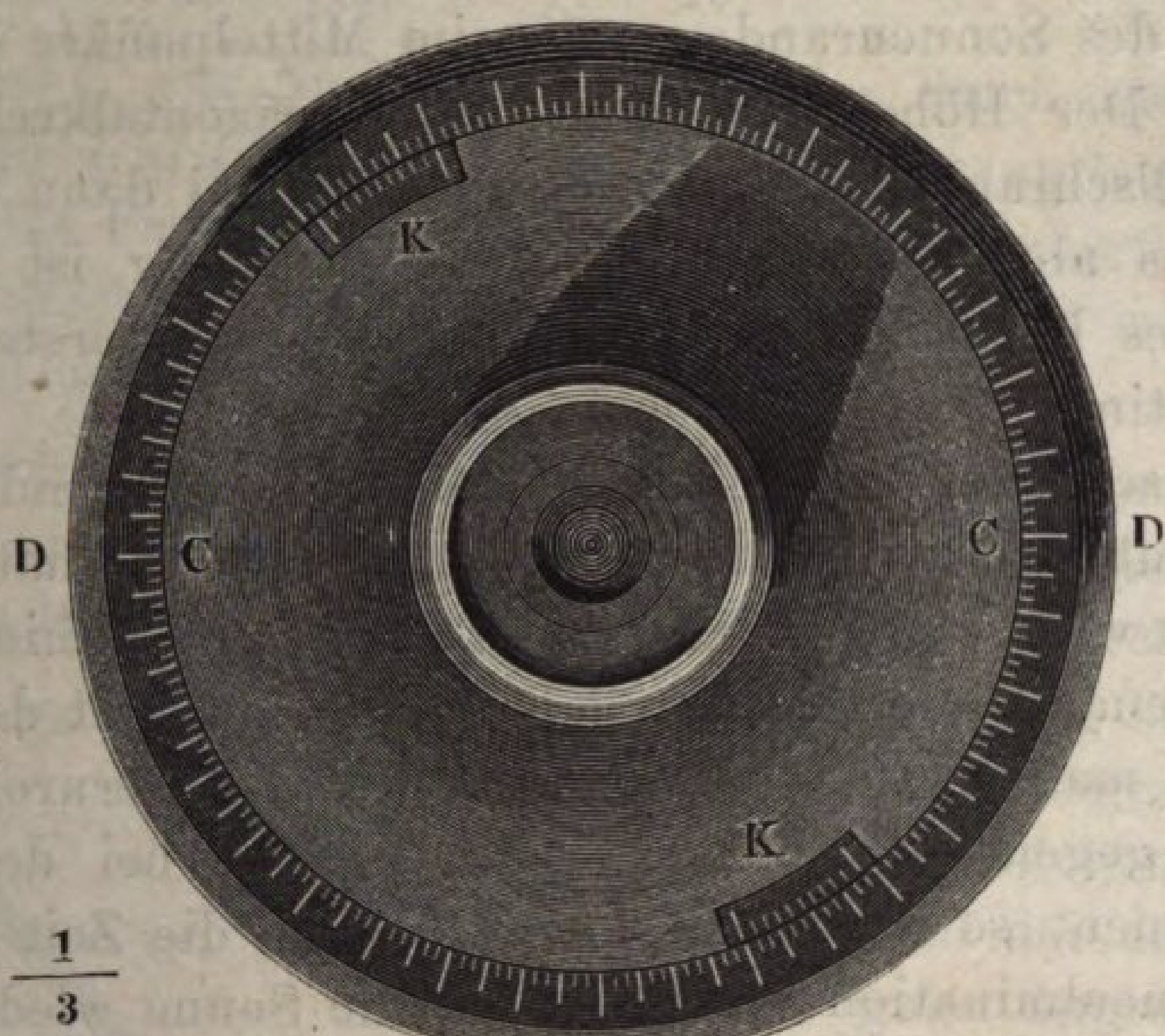
man dann das Fernrohr aus seiner horizontalen Richtung heraus, um es auf einen höher oder tiefer gelegenen Punkt zu richten, so kann man die Grösse dieser Drehung an den Nonien ablesen.

Die Stellschraube h dient, um bei jeder beliebigen Neigung des Fernrohrs dieses sammt dem Verticalkreis festzustellen. Die Mikrometerschraube i dient, um feinere Verstellungen des Fernrohrs in seiner verticalen Umdrehungsebene zu bewirken.

Das Gestell, welches die horizontale Axe des Fernrohrs trägt, ist

auf einem horizontalen um den verticalen Zapfen X drehbaren Kreise C befestigt, welcher der Alhidadenkreis oder die Alhidade genannt wird. Dieser Kreis dreht sich genau passend innerhalb eines mit dem Fussgestell des ganzen Apparates fest verbundenen, ringsum mit einer Gradtheilung versehenen kreisförmigen Ringes D, welcher der Limbus genannt wird. Die Alhidade trägt an ihrem äusseren Rande zwei Nonien K, welche sich bei der Drehung der Alhidade längs der Theilung des Limbus hinbewegen und welche man deutlicher in Fig. 13 sieht, welche die Alhidade und den Limbus von oben gesehen darstellt, jedoch

Fig. 13.



mit Weglassung der Stellschraube r, mittelst deren man die Alhidade an den Limbus anklemmen, und der Mikrometerschraube t, mittelst deren man eine feinere Verschiebung der Alhidade bewerkstelligen kann.

Um den Limbus und die Alhidade gehörig wagerecht zu stellen, was man an einer in der Mitte der Alhidade angebrachten Dosenlibelle erkennen kann, dienen die drei Fussschrauben (in Fig. 11 sowohl, wie in Fig. 12 sind deren nur zwei sichtbar), welche das ganze Instrument tragen.

Bemerken wir noch, dass die Theodolitfernrohre stets astronomische Fernrohre sind (Lehrb. der Physik, 7. Aufl., Bd. I., S. 723), dass sie also alle Gegenstände verkehrt zeigen und dass sie mit einem Fadenkreuz versehen sind. An der Stelle nämlich, an welcher das Bild des Objectives zu Stande kommt, ist eine in der Mitte mit einer runden Oeffnung versehene Metallscheibe angebracht; über diese Oeffnung sind dann zwei sehr feine Fäden (in der Regel Spinnenfäden) sich rechtwinklig kreuzend ausgespannt, Fig. 14. Will man einen bestimmten Gegenstand, etwa einen Stern, einvisiren, so richtet man das Fernrohr so, dass das Bild des zu beobachtenden Gegenstandes genau in den Durchschnitts-

Fig. 14.



punkt der Fäden fällt. Man sieht, dass auf diese Weise die Visirlinie des Fernrohrs vollkommen genau bestimmt ist.

Will man durch das Theodolitfernrohr die Sonne beobachten, so muss man vor dem Ocular ein dunkelfarbiges Glas, das Sonnenglas, anbringen, weil das Auge ohne ein solches den Glanz des Sonnenlichtes nicht ertragen würde.

10 **Bestimmung der Mittagslinie mit Hülfe des Theodolits.** Um nun mit Hülfe des Theodolits die Mittagslinie zu bestimmen, verfährt man in folgender Weise: Man richtet das Fernrohr des Instrumentes einige Zeit, n Stunden, vor der Culmination der Sonne so, dass der Gipfel des Sonnenrandes genau im Mittelpunkte des Fadenkreuzes erscheint. Der Höhenkreis und der Horizontalkreis werden nun mittelst der Stellschrauben h und r festgestellt und dann der Nonius des Horizontalkreises abgelesen. Durch diese Ablesung ist die Lage der Verticalebene des Fernrohrs für den Moment dieser ersten Beobachtung vollkommen bestimmt.

Die Sonne schreitet nun nach Westen vor, während zugleich ihre Höhe bis zur Culmination zunimmt. Nach der Culmination nimmt die Höhe der Sonne wieder ab, n Stunden nach ihrer Culmination wird die Sonne wieder genau dieselbe Höhe haben, wie zur Zeit der ersten Beobachtung. Wenn man also den Höhenkreis und das Fernrohr unverändert in der Stellung gegen den Horizont lässt, die sie bei der ersten Beobachtung einnahmen, so wird man, wenn nahezu die Zeit von n Stunden nach der Sonnenculmination verflossen ist, die Sonne wieder im Gesichtsfelde des Fernrohrs finden, wenn man die Alhidade sammt Höhenkreis und Fernrohr um die verticale Axe des Instrumentes nach Westen dreht. Zunächst wird nun der Gipfel des Sonnenrandes wieder genau hinter den verticalen Faden des Fadenkreuzes gebracht und dann folgt man der Sonne, indem man den Horizontalkreis langsam und zwar zuletzt mit Hülfe der Mikrometerschraube t gegen Westen fortschiebt, bis zu dem Moment, in welchem die Sonne so tief gesunken ist, dass der horizontale Faden wieder den Sonnenrand tangirt, der Gipfel des Sonnenrandes also wieder genau im Mittelpunkte des Fadenkreuzes erscheint. Man liest nun abermals den Nonius des Alhidadenkreises ab und erfährt durch diese zweite Ablesung den Winkel, welchen die Verticalebene des Fernrohrs bei der ersten Beobachtung mit der Verticalebene des Fernrohrs bei der zweiten Beobachtung macht. Halbirt man diesen Winkel, so ist dann eine durch die Halbirungslinie gelegte Verticalebene die Ebene des Meridians.

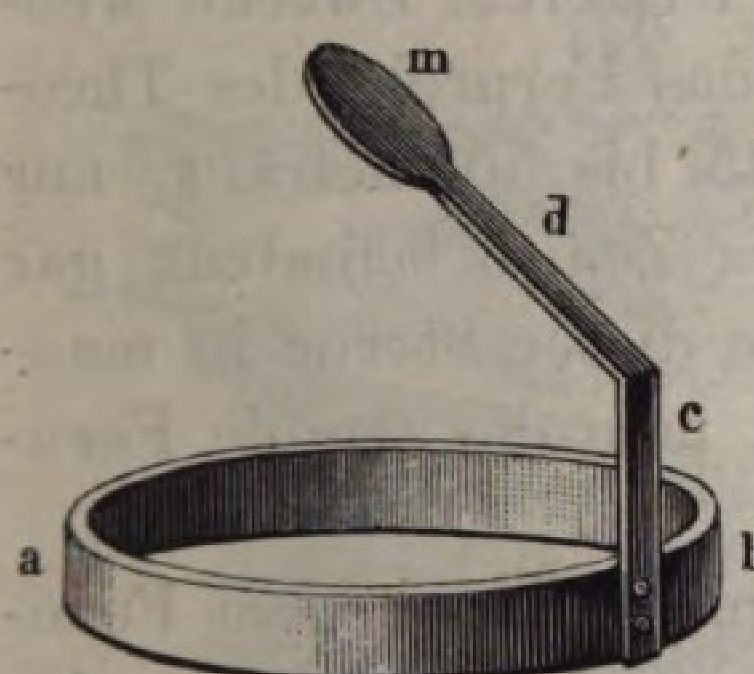
Hat z. B. der Nonius des Alhidadenkreises bei der Morgensbeobachtung auf 152^0 gestanden, bei der Nachmittagsbeobachtung aber auf 226^0, so wird sich die Ebene des Fernrohrs und des Höhenkreises im Meridian befinden, wenn man den Alhidadenkreis so stellt, dass der Nonius desselben auf 189^0 zu stehen kommt.

Wegen der von der täglichen Bewegung unabhängigen Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe (die wir im dritten Capitel näher besprechen werden) giebt diese Bestimmungsweise des Meridians mittelst correspondirender Sonnenhöhen nur dann genaue Resultate, wenn man die Beobachtung um die Zeit der längsten oder der kürzesten Tage anstellt. Am fehlerhaftesten wird das Resultat zur Zeit der Tag- und Nachtgleichen. Von diesem Uebelstande ist nun die Bestimmung des Meridians durch correspondirende Sternhöhen ganz frei. Das Verfahren ist genau dasselbe, wie wir es für die Sonne kennen gelernt haben; nur stellt man nicht auf den Gipfel des Sonnenrandes, sondern auf den zu beobachtenden Stern ein.

Es ist leicht, zur Nachtzeit irgend einen Stern erster, zweiter oder auch dritter Grösse in das Gesichtsfeld des Fernrohrs zu bringen; zur Nachtzeit aber ist das Fadenkreuz, welches bei Tage scharf vor dem hellen Hintergrunde erscheint, ganz unsichtbar, wenn man es nicht auf künstliche Weise erleuchtet.

Zur Beleuchtung des Fadenkreuzes in Theodolitfernrohren dürfte wohl folgende Methode die geeignetste sein: Auf das Objectivende des Fernrohrs wird ein leichter Messingring *ab*, Fig. 15, aufgeschoben; an diesem ist ein Messingstäbchen *cd* befestigt, welches gerade der Mitte des Ringes *ab* gegenüber ein elliptisches Metallblättchen *m* trägt. Dieses Metallblättchen ist auf der dem Ringe *ab* zugewandten Seite weiss angestrichen. Durch eine in der Nähe seitlich aufgestellte Kerzenflamme wird diese kleine weisse Fläche erhellt und wirft dann hinlänglich Licht in das Fernrohr, um das Fadenkreuz zu erleuchten, welches nun hell auf dunklem Grunde erscheint. Von dem Sterne fallen nun noch hinlänglich viel Strahlen neben dem Blättchen *m* vorbei auf das Objectiv des Fernrohrs, um ein deutliches Bild des Sternes zu geben.

Fig. 15.



Hat man einmal nach der angegebenen Methode den Punkt des Limbus ermittelt, auf welchen man den Nonius der Alhidade einstellen muss, damit die verticale Drehungsebene des Fernrohrs mit der Ebene des Meridians zusammenfällt, so bleibt noch übrig, die Richtung der Mittagslinie ein- für allemal zu fixiren, damit man das Instrument wieder wegnehmen kann, ohne bei einer späteren Aufstellung an derselben Stelle den Meridian von Neuem bestimmen zu müssen.

Die Fixirung der Mittagslinie geschieht dadurch, dass man das in die Ebene des Meridians gebrachte Fernrohr gegen den Horizont neigt und nun sieht, ob sich auf demselben oder auf der Erdoberfläche nicht irgend ein Gegenstand, etwa eine Thurmspitze, eine Mauerkante, eine Giebelspitze, ein Blitzableiter u. s. w., findet, welcher gerade im Meridian

liegt, welcher also den Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes passirt, wenn man das Fernrohr um seine horizontale Axe dreht. Ein solcher Punkt wird nun das Meridianzeichen genannt. Eine verticale Ebene, welche durch den Aufstellungsort des Instrumentes und das Meridianzeichen geht, ist die Ebene des Meridians.

Wenn sich kein passendes Meridianzeichen vorfindet, so muss man ein solches herrichten, indem man etwa einen verticalen Strich an der Wand eines passend gelegenen Hauses zieht. Das zweckmässigste Meridianzeichen ist aber immer ein 1 Meter langer, in Centimenter getheilter Maassstab, welchen man in horizontaler Lage und in entsprechender Entfernung so befestigt, dass die Meridianebene des Instruments seine Länge ungefähr halbirt. Ist dieser Maassstab einmal gehörig befestigt, so kann man durch später wiederholte Bestimmungen der Meridianebene leicht ermitteln, welcher Theilstrich desselben es eigentlich sei, der genau die Richtung der Mittagslinie bezeichnet.

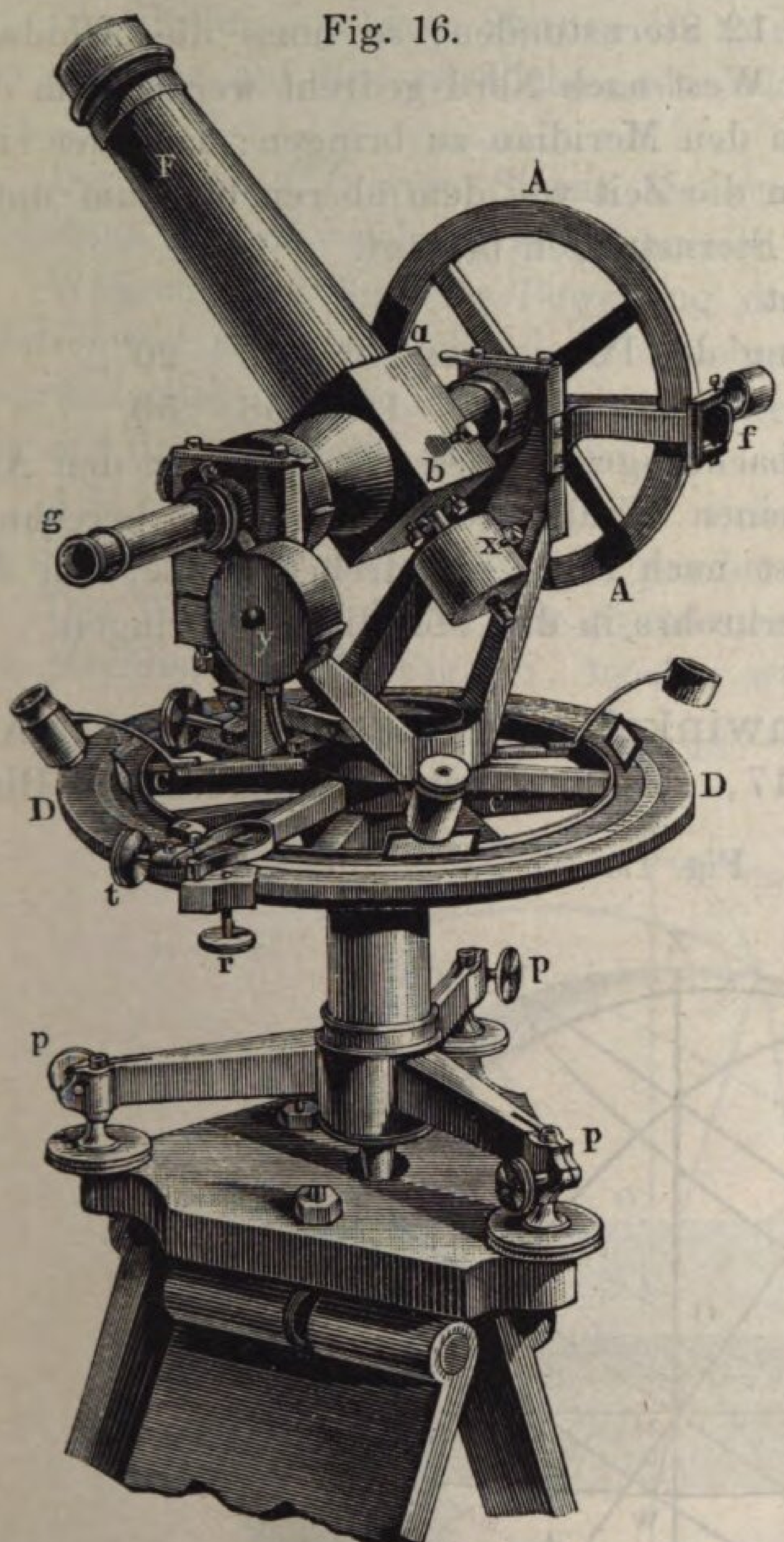
11 **Theodolit mit gebrochenem Fernrohr.** Das Theodolit, welches wir in §. 9 kennen lernten, ist ein solches von möglichst einfacher Construction, wie man sie mehr zu geodätischen Messungen als zu astronomischen Beobachtungen anwendet. Zu letzterem Zwecke wendet man wo möglich grössere Kreise an. Durch das Fernrohr des Theodolits Fig. 11 kann man Sterne, deren Höhe 45 bis 50^0 beträgt, nur mit Mühe, solche aber, die sich in der Nähe des Zenith befinden, gar nicht beobachten. Da nun die Beobachtung gerade dieser Sterne in manchen Fällen von grosser Wichtigkeit ist, so hat man das gerade Fernrohr mit einem gebrochenen vertauscht.

Fig. 16 stellt ein etwas grösseres Theodolit mit gebrochenem Fernrohr dar. Alle Theile dieses Instrumentes, welche auch an dem Theodolit Fig. 11 vorkommen, sind mit den gleichen Buchstaben bezeichnet. So ist A der Höhenkreis, F das Fernrohr, f der eine Nonius des Höhenkreises. C ist der Alhidadenkreis, welcher hier in der Mitte durchbrochen ist; D ist der Limbus. Die Alhidade ist hier mit 4 Nonien versehen. Ueber jedem dieser Nonien ist ein kleiner Schirm von durchscheinendem Papiere angebracht, was eine bessere Beobachtung des Nonius bewirkt. Die Nonien werden nicht mit blossem Auge, sondern durch Loupen abgelesen.

Die Einrichtung des gebrochenen Fernrohrs ist folgende: Das Ocularende g des Rohres macht einen rechten Winkel mit dem Objectivende F. Beide Enden sitzen auf einem würfelförmigen hohlen Körper, in dessen Innerem sich ein Spiegel befindet, welcher sowohl gegen die Axe des Objectivendes als auch gegen die Axe des Ocularendes um 45^0 geneigt ist. Dieser Spiegel wird durch ein rechtwinkliges, gleichschenkliges Glasprisma gebildet, dessen eine Kathetenfläche gegen das Objectiv, die andere gegen das Ocular gerichtet ist, während die Hypotenusenfläche

die Richtung der Diagonalen ab hat. Die vom Objectiv kommenden Strahlen treten an der Vorderfläche dieses Prismas ein, ohne eine merkliche Ablenkung zu erfahren; an der 45^0 gegen die Axe des Objectivs geneigten Hinterfläche erleiden sie eine totale Reflexion (Lehrb. der Phys. 7. Aufl. Bd. I. S. 542) und gelangen so, nachdem sie an der zweiten Kathetenfläche fast ohne Ablenkung ausgetreten sind, zu dem Ocular. Das Ocularende des Fernrohrs bildet nun selbst ein Stück der horizontalen Umdrehungsaxe des Höhenkreises, man mag also das Objectivende des Fernrohrs um diese Axe drehen, wie man will, so bleibt doch die Stellung des Oculars ungeändert; man kann also mit gleicher Bequemlichkeit alle Sterne beobachten, welches auch ihre Höhe sein mag.

Fig. 16.



Die Metallmassen x und y dienen nur als Gegengewicht für das Objectivende des Fernrohrs.

Mit einem solchen Instrumente kann man nun die Mittagslinie noch weit genauer bestimmen, als es nach der Methode der correspondirenden Höhen möglich ist. Das Instrument wird an einem Orte aufgestellt, an welchem die Aussicht nach Norden hin bis nahe zum Zenith frei ist. Der Azimutalkreis wird dann so eingestellt, dass die Verticalebene des Fernrohrs nahezu mit dem Meridian zusammenfällt, und nun beobachtet man an einer gleichförmig gehenden Uhr die Zeiten der auf einander folgenden oberen und unteren Culmination eines Circumpolarsternes, d. h. die Zeit, in welcher der Stern in seiner grössten Höhe den verticalen Faden des Fadenkreuzes passirt, und dann wieder den Zeitpunkt, in welchem derselbe Stern in seiner tiefsten Stellung das Fadenkreuz passirt. Wenn die verticale Drehungsebene des Fernrohrs genau in den Meridian fällt, so muss die von einem Beobachtungsmoment zum anderen verstrichene Zeit genau 12 Sternstunden betragen. Ist dies nicht der Fall, so ist

dies ein Beweis, dass die Verticale des Fernrohrs noch einen Winkel mit dem Meridian macht. Beträgt die Zeit von dem oberen bis zum unteren Vorübergang weniger als 12 Sternstunden, so muss die Alhidade ein wenig in der Richtung von West nach Nord gedreht werden, um die Drehungsebene des Fernrohrs in den Meridian zu bringen; nach der entgegengesetzten Seite aber, wenn die Zeit von dem oberen bis zum unteren Vorübergang mehr als 12 Sternstunden beträgt.

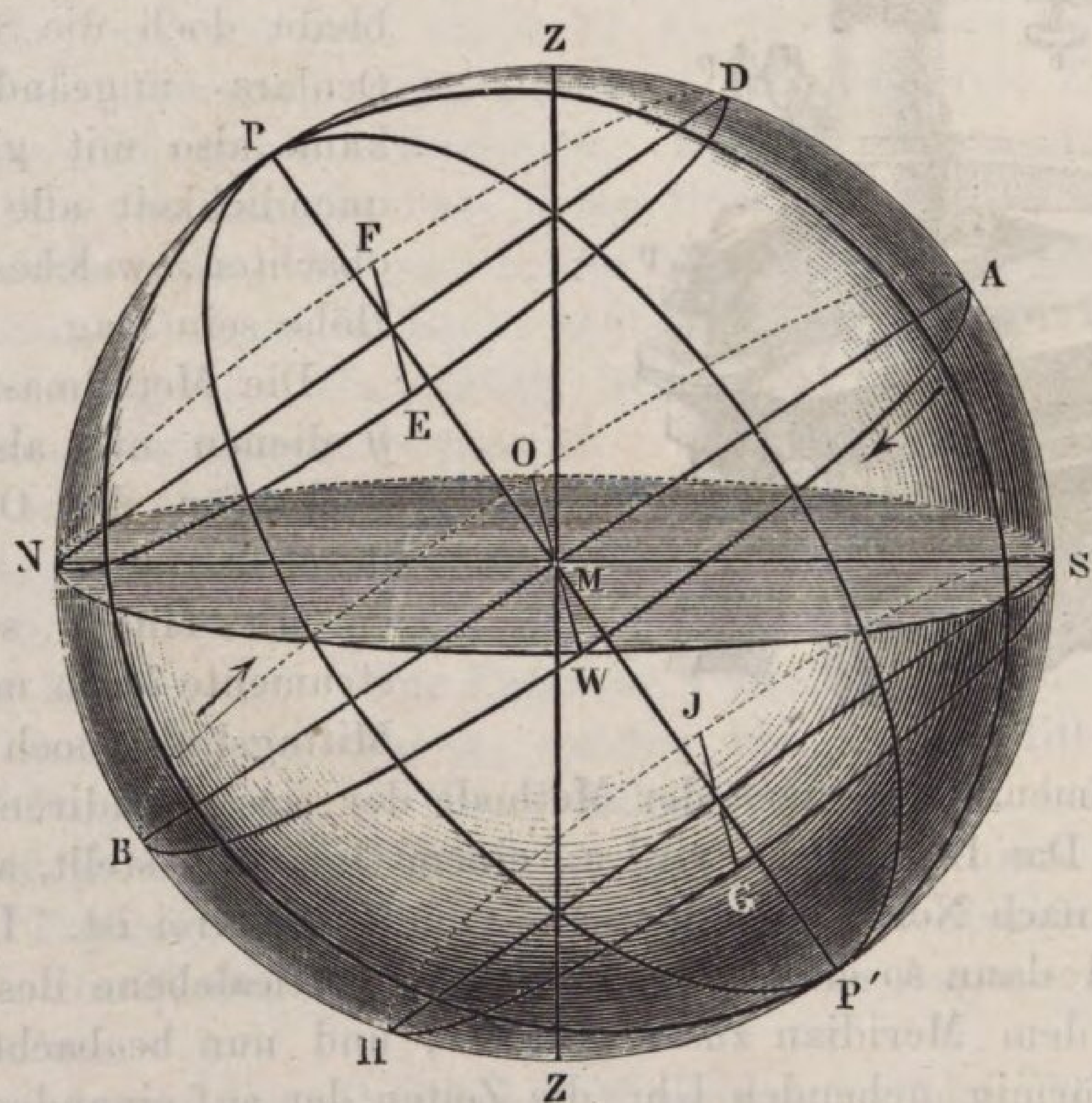
Hätte man z. B. beobachtet

den oberen Vorübergang des Polarsterns	0^h	58′	20″,
den unteren „ „ „	12	58	50,

so würde man aus diesen Beobachtungen schliessen, dass man den Azimutalkreis um einen ganz kleinen Winkel (den man auch berechnen kann) in der Richtung von Ost nach Nord hin drehen müsse, um die verticale Drehungsebene des Fernrohrs in den Meridian zu bringen.

12 **Declination, Stundenwinkel und Rectascension.** Alle durch die Weltaxe PP', Fig. 17, gelegten Ebenen schneiden die Him-

Fig. 17.



melskugel in grössten Kreisen, welche den Namen der Declinationskreise oder der Stundenkreise führen. Durch jeden Stern kann man sich einen Stundenkreis gelegt denken und alle diese Stundenkreise stehen rechtwinklig auf der Ebene des Aequators.

Der Viertelkreis PEC, Fig. 18, ist ein Theil des dem Sterne E angehörigen Stundenkreises. Dasjenige Bogenstück EC des Stundenkrei-

ses, welches zwischen dem Sterne und dem Aequator liegt, heisst die Declination oder die Abweichung des Sternes.

Die Declination eines Sternes ist nördlich oder südlich, je nachdem derselbe auf der nördlichen oder südlichen Halbkugel des Himmels liegt.

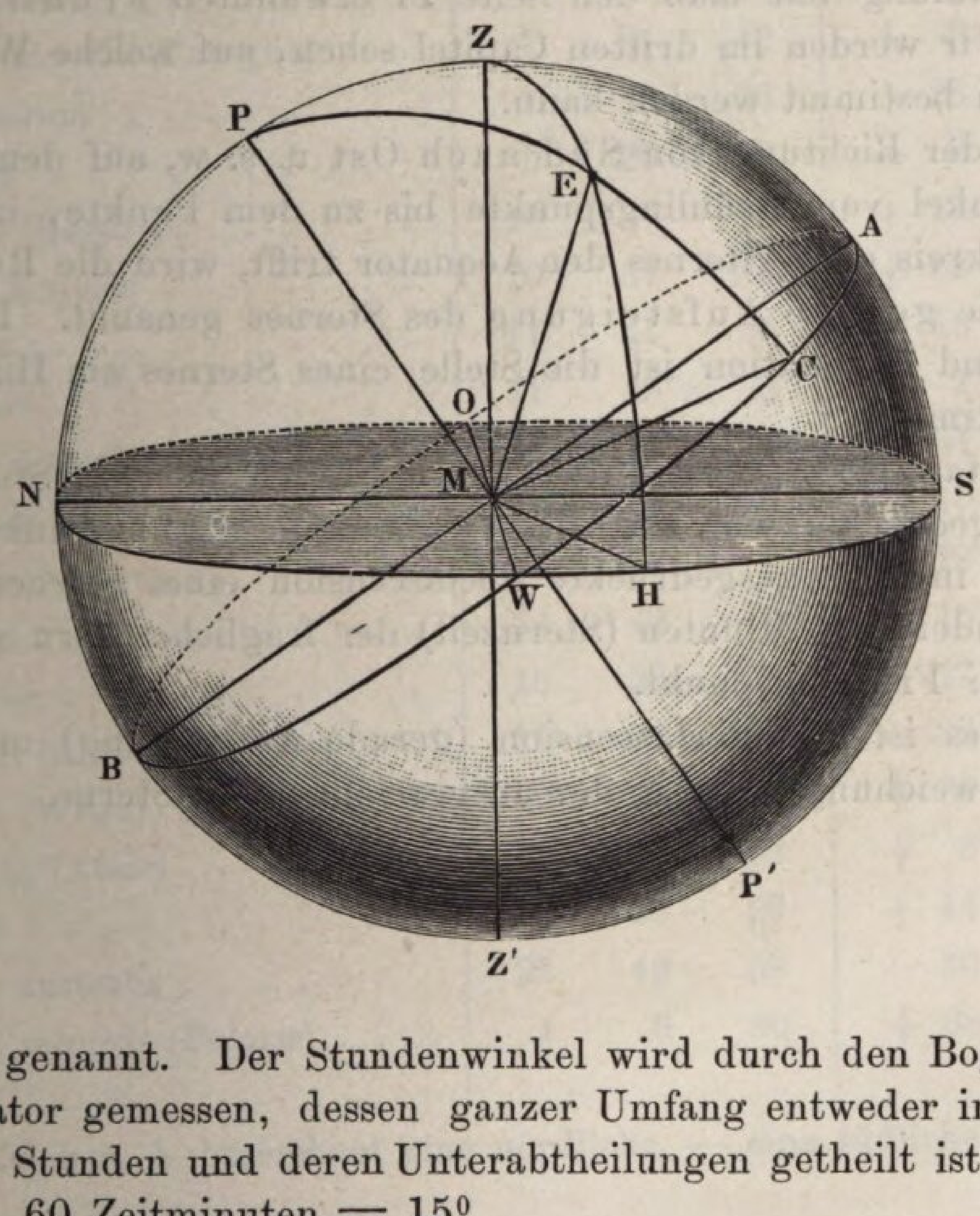
Der Bogen PE vom Sterne bis zum Pol heisst die Poldistanz. Poldistanz und Abweichung ergänzen sich zu 90^0.

Während der täglichen Bewegung des Himmels ändert sich die Declination der Gestirne nicht; die Abweichung eines Fixsternes ist also eine unveränderliche Grösse, weil ja jeder Stern einen Kreis beschreibt, welcher mit dem Aequator parallel ist.

Alle solche Kreise, welche man sich auf der Himmelskugel parallel mit dem Aequator gezogen denkt, werden Parallelkreise genannt.

Der Winkel, welchen der Stundenkreis PEC des Sternes E mit dem Meridian PZA, Fig. 18, macht, wird der Stundenwinkel des

Fig. 18.



Sternes E genannt. Der Stundenwinkel wird durch den Bogen AC auf dem Aequator gemessen, dessen ganzer Umfang entweder in 360 Grade oder in 24 Stunden und deren Unterabtheilungen getheilt ist; es sind also

60 Zeitminuten $= 15^0$
4 „ $= 1^0$
1 Zeitminute $=$ 15 Bogenminuten
1 Zeitsecunde $=$ 15 Bogensecunden.

Die Zählung geschieht stets von dem Punkte A aus, in welchem der Meridian den Aequator schneidet, nach Westen hin.

Der in Zeit ausgedrückte Stundenwinkel eines Sternes, welcher sich immer nur auf einen bestimmten Moment bezieht, sagt aus, wie viel Stunden und Minuten (Sternzeit) bereits seit der letzten Culmination dieses Sternes verflossen sind.

Es ist klar, dass durch Stundenwinkel und Abweichung (Declination) für einen bestimmten Moment die Stellung eines Sternes am Himmelsgewölbe ganz in ähnlicher Weise bestimmt ist, wie durch Azimut und Höhe; während aber Höhe und Azimut eines Sternes sich gleichzeitig ändern, bleibt die Declination constant und nur der Stundenwinkel ändert sich, weil in jedem Augenblicke ein anderer Punkt des Aequators es ist, von welchem aus der Stundenwinkel gezählt wird.

Eine von der Zeit unabhängige Bestimmung der Sternörter am Himmel erhält man, wenn man die Winkel auf dem Aequator nicht von einem veränderlichen Punkte aus zählt, sondern von einem Punkte, welcher eine feste Stellung auf dem Aequator, also mit der ganzen Himmelskugel die tägliche Bewegung gemeinschaftlich hat. Zum Ausgangspunkt dieser Winkelzählung hat man den Seite 11 erwähnten Frühlingspunkt gewählt. Wir werden im dritten Capitel sehen, auf welche Weise dieser Punkt genau bestimmt werden kann.

Der in der Richtung von Süd nach Ost u. s. w. auf dem Aequator gezählte Winkel vom Frühlingspunkte bis zu dem Punkte, in welchem der Stundenkreis eines Sternes den Aequator trifft, wird die Rectascension oder die gerade Aufsteigung des Sternes genannt. Durch Rectascension und Declination ist die Stelle eines Sternes am Himmel vollkommen bestimmt.

Die Rectascension wird entweder in Graden oder in Stunden und Minuten ausgedrückt, wie wir dies schon beim Stundenwinkel gesehen haben. Die in Zeit ausgedrückte Rectascension eines Sternes giebt an, wie viel Stunden und Minuten (Sternzeit) der fragliche Stern später culminirt als der Frühlingspunkt.

Folgendes ist die Rectascension (gerade Aufsteigung) und die Declination (Abweichung) einiger der ausgezeichnetsten Sterne.

Namen.	Gerade Aufsteigung.			Abweichung.		
α Andromedae	0h	1′	—″	+ 28°	17′	—″
α Arietis	1	59	—	+ 22	46	—
α Ceti	2	55	42	+ 3	31	3
α Persei	3	14	—	+ 49	20	—
α Tauri (Aldebaran)	4	28	36	+ 16	12	49
α Aurigae (Capella)	5	6	59	+ 45	50	42
β Orionis	5	7	34	— 8	22	23
β Tauri	5	17	8	+ 28	28	47
α Orionis	5	47	19	+ 7	22	32
α Canis majoris (Sirius)	6	38	45	— 16	31	16
α Geminorum	7	25	20	+ 32	12	6
α Canis minoris (Procyon)	7	31	42	+ 5	35	32
β Geminorum	7	36	26	+ 28	22	19
α Hydrae	9	20	28	— 8	1	58
α Leonis (Regulus)	10	—	39	+ 12	40	26
α Ursae majoris	10	54	44	+ 62	31	57
β Leonis	11	41	39	+ 15	22	57
β Virginis	11	43	8	+ 2	34	52
γ Ursae majoris	11	46	11	+ 54	30	2
α Virginis (Spica)	13	17	33	— 10	24	13
α Bootis (Arcturus)	14	9	3	+ 19	56	21
α Librae	14	42	40	— 15	23	30
α Coronae	15	28	33	+ 27	12	19
α Scorpii (Antares)	16	20	31	— 26	6	23
α Lyrae (Wega)	18	32	2	+ 38	39	3
α Aquilae (Atair)	19	43	42	+ 8	29	18
α Cygni	20	36	29	+ 44	45	49
α Piscis australis	22	49	38	— 30	23	28
α Ursae minoris (Polaris)	1	6	30	+ 88	32	11

Das Zeichen + bezeichnet eine nördliche, — eine südliche Declination.

Auf Himmelsgloben findet man in der That den Aequator entweder in 360 Grade oder in 24 Stunden ($1^h = 15^0$) und Minuten getheilt. Der Nullpunkt dieser Theilung ist der Frühlingspunkt. Der durch den Frühlingspunkt gezogene Stundenkreis ist dann gleichfalls in Grade getheilt, so dass 90 Grade auf den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum

Nordpol und 90 Grade auf den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum Südpol gezählt sind. Auf diesem Stundenkreise kann dann die Declination für jeden einzelnen Parallelkreis abgelesen werden.

In der Sternkarte Tab. IV. erscheint der Aequator als gerade Linie; man sieht ihn hier in 360 Grade getheilt. Die entsprechende Theilung in Stunden und Minuten findet sich am unteren Rande der Karte. Auf der, durch den Nullpunkt der Theilung des Aequators (den Frühlingspunkt) gelegten Verticalen findet man dann eine weitere Theilung, durch welche die Declinationen gemessen werden.

Auf der Karte Tab. III. kann man die Rectascensionen am Rande, die Declinationen auf der vom Nordpol nach dem Nullpunkte der Theilung am Rande gezogenen geraden Linie ablesen.

Nach diesen Erläuterungen wird es eine zweckmässige Uebung sein, nach den in der obigen Tabelle mitgetheilten Werthen der geraden Aufsteigung und der Abweichung die dort verzeichneten Sterne aufzusuchen.

Um die in Zeit angegebene Rectascension rasch in Bogen- oder Winkelwerthe umwandeln zu können, dient folgende Tabelle:

1^{sec} Zeit = 15″ Bogen
4^{s} „ = 1′ „
1^{m} „ = 15′ „
2^{m} „ = 30′ „
3^{m} „ = 45′ „

Minuten	Grade	Minuten	Grade
4 Zeit	1 Bogen	32 Zeit	8 Bogen
8 „	2 „	36 „	9 „
12 „	3 „	40 „	10 „
16 „	4 „	44 „	11 „
20 „	5 „	48 „	12 „
24 „	6 „	52 „	13 „
28 „	7 „	56 „	14 „

Stunden	Grade	Stunden	Grade
1 Zeit	15 Bogen	13 Zeit	195 Bogen
2 „	30 „	14 „	210 „
3 „	45 „	15 „	225 „
4 „	60 „	16 „	240 „
5 „	75 „	17 „	255 „
6 „	90 „	18 „	270 „
7 „	105 „	19 „	285 „
8 „	120 „	20 „	300 „
9 „	135 „	21 „	315 „
10 „	150 „	22 „	330 „
11 „	165 „	23 „	345 „
12 „	180 „	24 „	360 „

Es sei z. B. auf Tab. IV. *α* leonis aufzusuchen. Seine Rectascension ist 10^h (die Secunden müssen bei der Kleinheit der Karte unberücksichtigt bleiben) oder 150°; man geht also vom Frühlingspunkt aus auf dem Aequator nach der Linken bis zu dem mit 150 bezeichneten Punkte, errichtet in demselben ein Perpendikel, auf welchem man dann mit dem Zirkel die Declination von $12^3/_4$ Grad nach Norden abzumessen hat, um den Ort des Regulus zu finden.

Mittagsrohr und Mittagskreis. Wir müssen nun sehen, auf 13
welche Weise Rectascension und Declination der Gestirne mit Genauigkeit ermittelt werden kann.

Wenn ein Theodolit so aufgestellt ist, dass die verticale Ebene, in welcher sich das Fernrohr drehen kann, genau in die Ebene des Meridians fällt, so kann man an diesem Instrumente mit Hülfe einer guten Uhr genau den Zeitpunkt beobachten, an welchem irgend ein bestimmter Fixstern den Meridian passirt.

Man kann eine solche Beobachtung selbst bei Tage machen; denn obgleich man, während die Sonne am Himmel ist, die Sterne mit blossem Auge nicht sieht, so sind doch durch ein Fernrohr bei Tage Sterne erster, zweiter, ja selbst dritter Grösse sichtbar.

Hat man nun an einem Tage die Culmination zweier Sterne beobachtet, so ist die Zeit (nach Sternzeit gemessen), welche zwischen der Culmination des ersten und der des zweiten verstreicht, die in Zeit ausgedrückte Differenz der Rectascensionen beider Sterne.

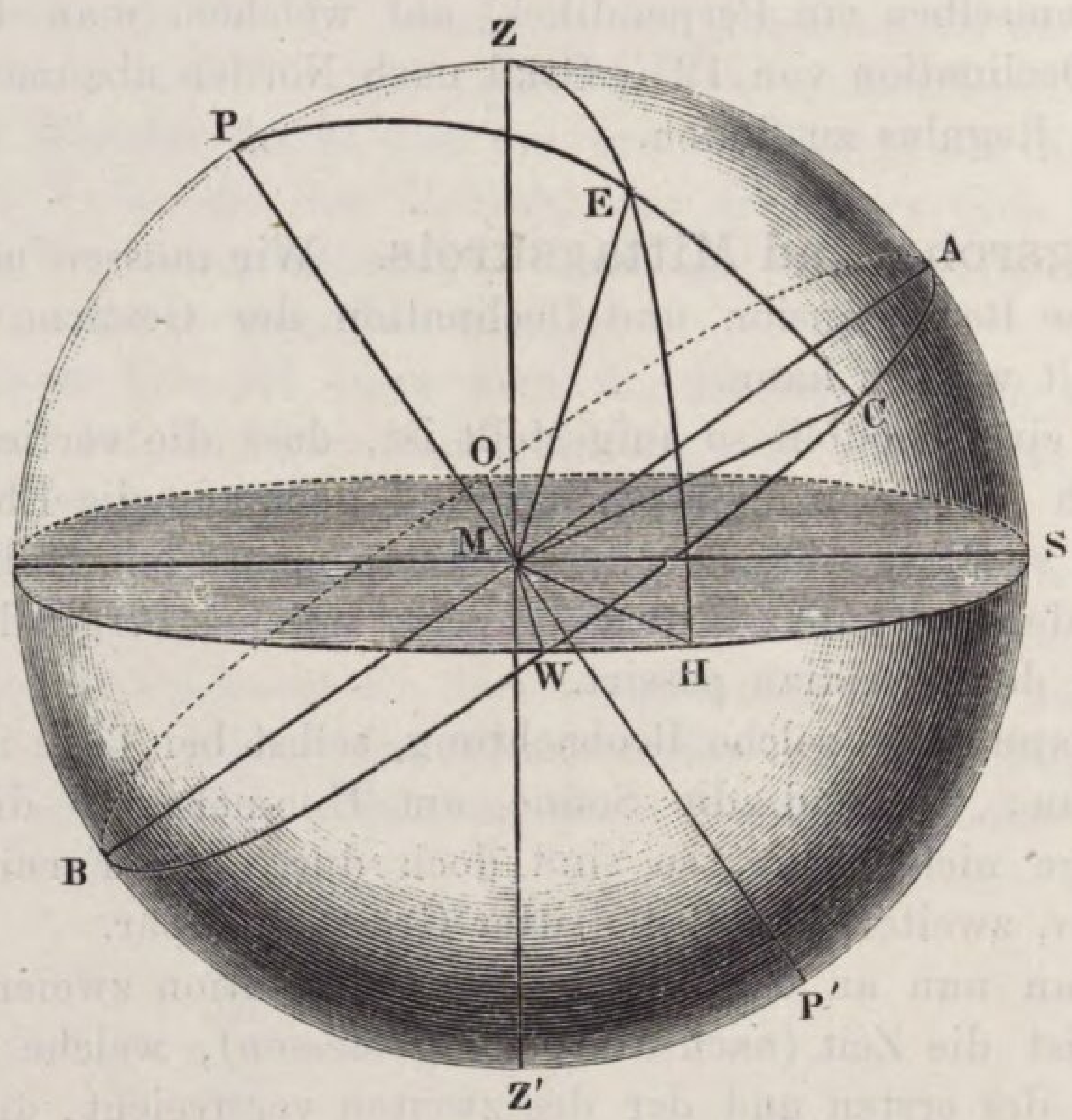
Hätte man z. B. an einem bestimmten Tage die Culmination von *α* arietis an einer nach mittlerer Sonnenzeit gehenden Uhr um $4^h\,30'\,18''$ Nachmittags beobachtet, die Culmination von *α* tauri aber um $6^h\,58'\,28''$, so ist der fragliche Zeitunterschied $2^h\,28'\,10''$ mittlerer Sonnenzeit oder $2^h\,28'\,35''$ Sternzeit. Die Rectascension von *α* tauri wäre demnach um $2^h\,28'\,35''$ oder als Winkel ausgedrückt um $37^0\,9'\,45''$ grösser als die Rectascension von *α* arietis, d. h. mit anderen Worten, der Stundenkreis von *α* arietis macht mit dem Stundenkreise von *α* tauri einen Winkel von $37^0\,9'\,45''$.

Ist also nur für einen einzigen Stern die Rectascension, d. h. der Abstand seines Stundenkreises vom Frühlingspunkt bekannt, so kann man, von diesem Sterne ausgehend, nach der eben angegebenen Weise leicht die Rectascension aller übrigen Sterne ermitteln. Auf welche Weise aber der Abstand irgend eines Stundenkreises vom Frühlingspunkte bestimmt wird, das kann erst im dritten Capitel besprochen werden.

Um die Declination eines Sternes zu bestimmen, hat man nur das Fernrohr so zu richten, dass der Stern zur Zeit seiner Culmination gerade hinter dem horizontalen Faden des Fernrohrs steht, und dann die Höhe des Sternes an dem Verticalkreise abzulesen; zieht man von dieser Höhe den Winkel ab, welchen der Aequator mit dem Horizont macht, also den Bogen AS, Fig. 19 a. f. S., so erhält man die Declination des Sternes.

Es ist $AS = PZ = 90^0 - PN$, d. h. 90^0 — der Polhöhe, da man den Bogen NP oder den Winkel NMP, welchen die Weltaxe mit dem Horizont macht, die Polhöhe nennt.

Fig. 19.



Gesetzt, man habe an einem Ort, für welchen die Polhöhe gerade 50^0 beträgt, die Höhe von α tauri zur Zeit der Culmination gleich $56^0\ 12'\ 49''$ gefunden, so ist die Declination dieses Sternes gleich $56^0\ 12'\ 49'' - 40^0 = 16^0\ 12'\ 49''$; denn wenn die Polhöhe NP 50^0 beträgt, so ist $PZ = SA = 40^0$.

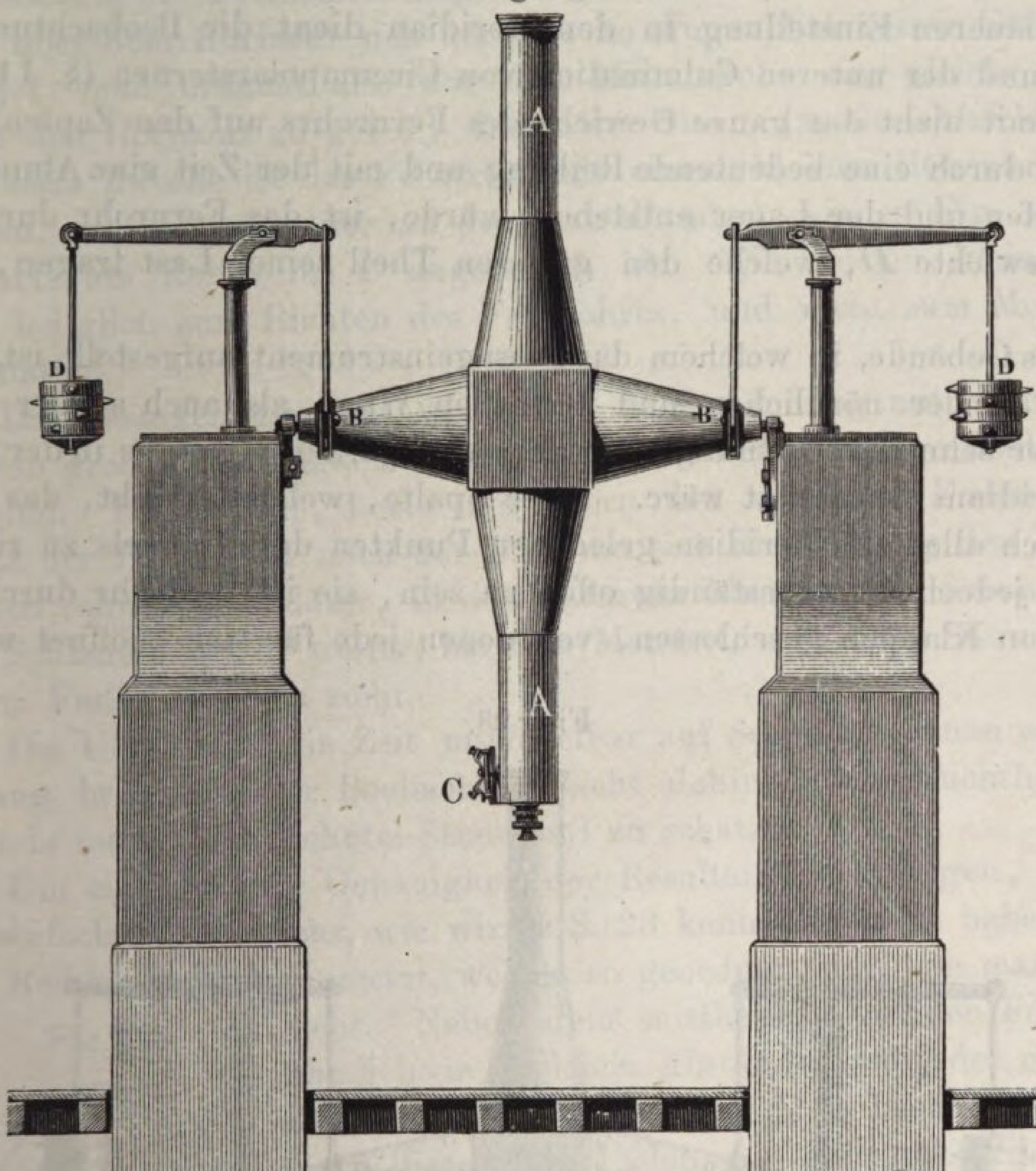
Da die Bestimmung der Declination und Rectascension der Gestirne durch Beobachtungen im Meridian zu den wichtigsten Aufgaben der praktischen Astronomie gehört, so wendet man zu diesem Zwecke auf grösseren Sternwarten nicht das Theodolit an, dessen Horizontalkreis hier ohnehin entbehrlich ist, sondern andere lediglich zu diesem Zwecke dienende Instrumente, welche den Namen der Mittagskreise und der Passageinstrumente führen.

Der Mittagskreis oder Meridiankreis ist ein mit einem Fernrohr verbundener Höhenkreis von bedeutenden Dimensionen (man hat solche von 3 bis zu 6 Fuss Durchmesser), der nur in der Ebene des Meridians drehbar ist. Soll das Instrument lediglich zur Bestimmung der Rectascension dienen, so kann auch der Höhenkreis wegfallen, es bedarf dann nur eines in der Meridianebene drehbaren Fernrohrs, welches dann ein Mittagsrohr oder Passagerohr genannt wird.

Fig. 20 stellt ein Mittagsrohr dar. AA ist das Fernrohr, welches um eine horizontale Axe B gedreht werden kann, die in zwei cylindrischen Zapfen endigt. Diese Zapfen ruhen auf Lagern, welche von massiven

steinernen Pfeilern getragen werden. Diese Pfeiler sind für sich besonders fundamentirt und stehen mit dem übrigen Gebäude, in welchem das

Fig. 20.



Passageinstrument aufgestellt ist, in keiner Verbindung; sie gehen frei durch den Fussboden des Zimmers hindurch, dessen Schwankungen und zufällige Bewegungen also gar keinen Einfluss auf das Instrument haben können.

Die Einrichtung der Zapfenlager für die Axe B ist aus Fig. 21 und Fig. 22 zu ersehen. Das eine, Fig. 21, ist mittelst einer Schraube in verticaler Richtung verschiebbar, um eine vollkommene Horizontalität der

Fig. 21.

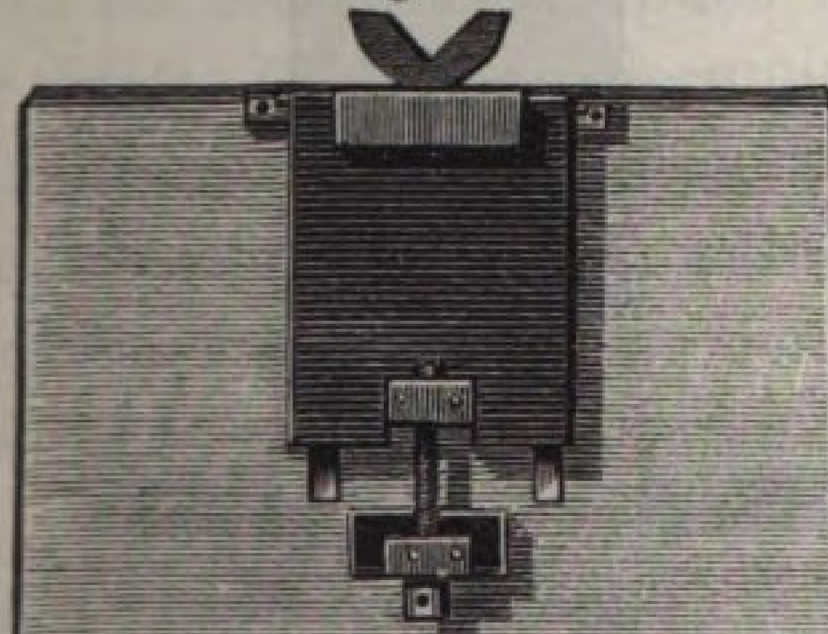
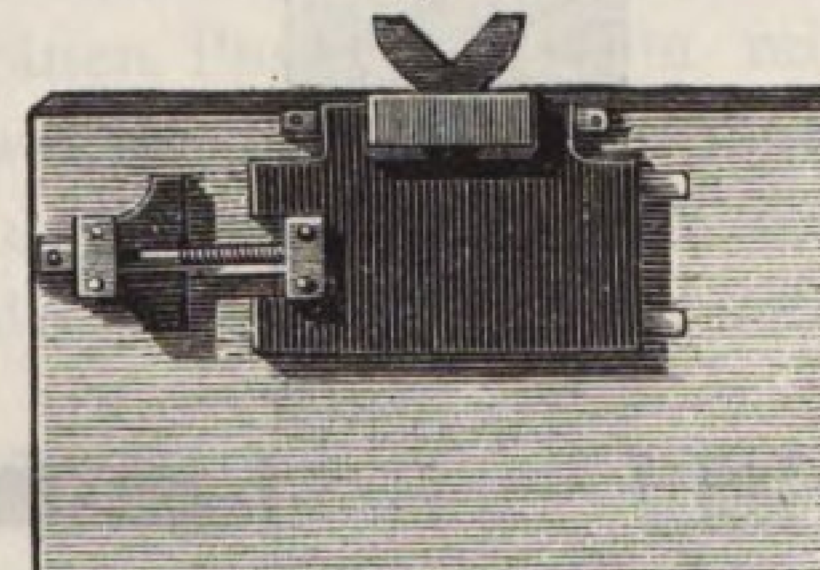


Fig. 22.

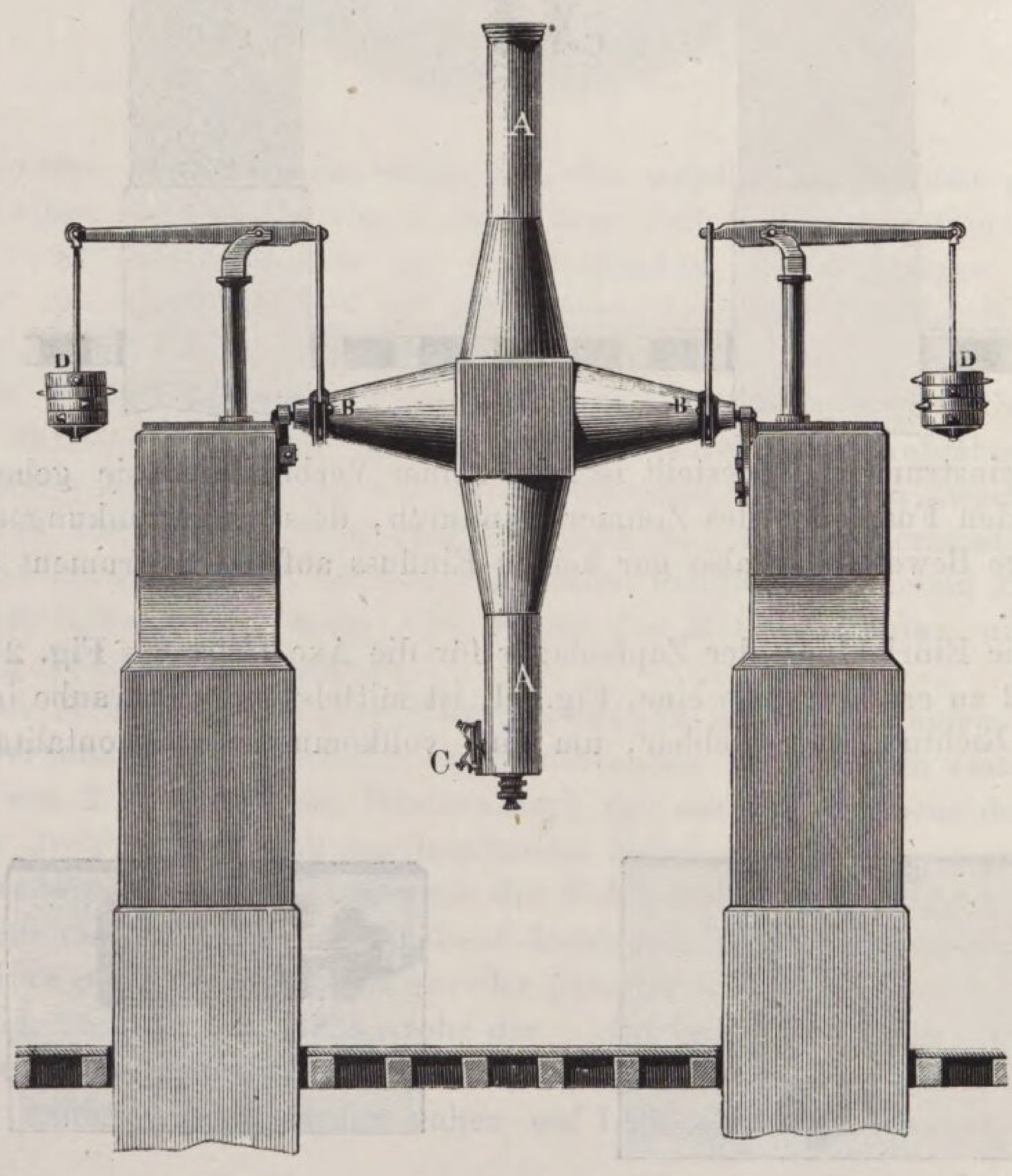


Axe *B* herstellen zu können; das andere, Fig. 22, kann dagegen in horizontaler Richtung verschoben werden, was nöthig ist, um die verticale Umdrehungsebene des Fernrohrs genau in den Meridian zu bringen. — Zur genaueren Einstellung in den Meridian dient die Beobachtung der oberen und der unteren Culmination von Circumpolarsternen (§. 11).

Damit nicht das ganze Gewicht des Fernrohrs auf den Zapfenlagern ruht, wodurch eine bedeutende Reibung und mit der Zeit eine Abnutzung der Zapfen und der Lager entstehen würde, ist das Fernrohr durch die Gegengewichte *D*, welche den grössten Theil seiner Last tragen, äquilibrirt.

Das Gebäude, in welchem das Passageinstrument aufgestellt ist, muss sowohl an der nördlichen und südlichen Wand als auch an der Decke mit einer schmalen Oeffnung versehen sein, gerade als ob es in der Ebene des Meridians durchsägt wäre. Diese Spalte, welche erlaubt, das Fernrohr nach allen im Meridian gelegenen Punkten des Himmels zu richten, braucht jedoch nicht beständig offen zu sein, sie ist vielmehr durch eine Reihe von Klappen geschlossen, von denen jede für sich geöffnet werden kann.

Fig. 23.



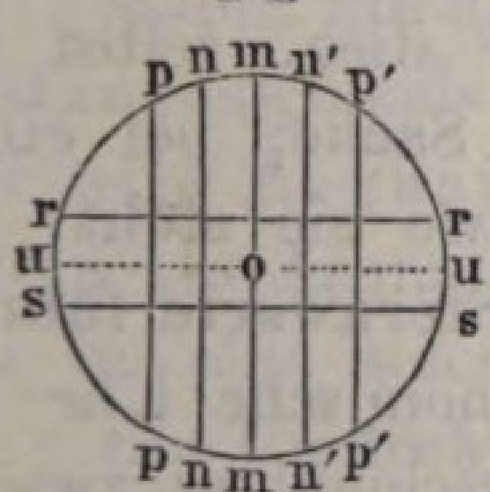
Da die Sterne bei Tage mit blossem Auge nicht sichtbar sind, man sie also nicht aufsuchen kann, so muss man im Stande sein, das Fernrohr auch ohne dies so zu richten, dass der zu beobachtende Stern im Gesichtsfelde des Fernrohres liegt. Man weiss vorher nahezu, in welcher Höhe über dem Horizont sich derselbe im Augenblick seiner Culmination befindet, man braucht also nur dem Mittagsrohr eine gleiche Neigung gegen den Horizont zu geben, damit der Stern das Gesichtsfeld passirt. Zu diesem Zwecke ist das Fernrohr mit einem kleinen Höhenkreise verbunden, welcher entweder an der Axe B oder, wie es Fig. 23 zeigt, seitwärts am Rohre bei C angebracht ist. Ein solcher kleiner Kreis dient lediglich zum Richten des Fernrohres, und nicht zum Messen der Declination.

Das Passageinstrument wird stets in Verbindung mit einer Pendeluhr von grosser Genauigkeit gebraucht, deren Pendelschläge deutlich hörbar sind. Einige Zeit, bevor der Stern den verticalen Faden erreicht, schaut der Beobachter nach der Uhr, um sich die Stellung der Zeiger zu merken, und zählt dann, in das Fernrohr blickend, die Secunden nach dem Schlage der Uhr weiter, bis zum Moment, wo er den Stern den verticalen Faden passiren sieht.

Die Uhr giebt die Zeit unmittelbar auf Secunden genau an, durch Uebung bringt es der Beobachter leicht dahin, noch Bruchtheile einer Secunde (etwa noch Zehntel-Secunden) zu schätzen.

Um eine grössere Genauigkeit der Resultate zu erlangen, hat man das einfache Fadenkreuz, wie wir es S. 23 kennen gelernt haben, durch eine Reihe von Fäden ersetzt, welche so geordnet sind, wie man Fig. 24 sieht. Neben dem mittleren verticalen Faden sind nämlich in gleichen Abständen auf jeder Seite noch zwei andere ausgespannt. Man beobachtet nun für jeden dieser fünf Fäden den Zeitpunkt, in welchem der Stern ihn passirt, und nimmt dann aus jenen fünf Beobachtungen das Mittel als den Zeitpunkt der Culmination des Sternes.

Fig. 24.



Von der grössten Wichtigkeit für Rectascensionsbestimmungen sind die g a l v a n i s c h r e g i s t r i r e n d e n Uhren, welche von dem Amerikaner L o c k e zuerst in Anwendung gebracht wurden. Wird bei jedem Schlage des Pendels einer astronomischen Uhr die galvanische Kette geschlossen, in deren Schliessungsbogen eine dem M o r s e'schen Telegraphen ähnliche Vorrichtung eingeschaltet ist, so wird der Stift bei jedem Secundenschlage einen Punkt auf dem mit gleichmässiger Geschwindigkeit vorwärts bewegten Papierstreifen machen. Die Geschwindigkeit, mit welcher beim L o c k e'schen Apparate der Papierstreifen voranging, war der Art, dass die Secundenpunkte ungefähr einen Zoll von einander abstanden.

Neben dem Elektromagneten dieses Schreibapparates ist aber noch ein zweiter angebracht, dessen Windungen einer anderen Kette angehö-

ren, welche der Beobachter beliebig schliessen kann, indem er mit dem Finger eine Taste anschlägt. Durch die Schliessung dieser zweiten Kette wird nun gleichfalls ein Stift gegen den Papierstreifen gedrückt; bei wiederholtem Anschlagen entsteht so auf dem Papierstreifen neben der ersten Reihe von Punkten, den Secundenpunkten, eine zweite, welche wir Beobachtungspunkte nennen wollen.

Um den Moment einer Sternculmination zu erhalten, schaut der Beobachter in das Fernrohr, während er den Finger über die Taste hält, die er in dem Momente niederdrückt, in welchem der Stern hinter den Faden tritt. Auf diese Weise wird der Beobachtungsmoment auf dem Papierstreifen markirt.

Steht der Beobachtungspunkt neben einem Secundenpunkte, so ist der Beobachtungsmoment genau durch eine ganze Secundenzahl gegeben. Trifft der Beobachtungspunkt nicht neben einem Secundenpunkte, sondern zwischen zwei Secunden ein, so kann man mit dem Zirkel die Entfernung auf dem Papierstreifen abmessen und danach (mittelst einer Scala) bestimmen, wieviel Zehntel und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächst vorhergehenden Secunde hinzukommen. So ist es möglich, den Zeitpunkt einer Beobachtung bis auf Hundertel-Secunden genau zu ermitteln.

Die grosse Genauigkeit der Ablesung ist ein wesentlicher Vorzug der galvanisch registrirenden Uhr, ausserdem aber gestattet diese Methode noch in gleicher Zeit ungleich mehr Beobachtungen anzustellen, als es vorher möglich war.

Bisher musste man die Uhr immer neben sich haben, um den Secundenschlag zu hören; konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren Nähe der Uhr gemacht werden, so war dies, selbst wo alle Hülfsmittel gegeben waren, eine sehr umständliche Sache; bei einer registrirenden Uhr dagegen ist es ganz gleichgültig, wo sie steht, da man die Drahtleitung leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es ist nicht einmal erforderlich, dass die astronomische Uhr im Beobachtungssaale selbst ihren Platz habe, vielmehr erscheint es zweckmässiger, sie in einem Wohnzimmer oder Büreau — natürlich an einem isolirten Pfeiler — aufzustellen, wo sie keiner grossen Temperaturveränderung ausgesetzt ist und einen gleichmässigen Gang einhalten kann.

Eine registrirende Uhr lässt sich ferner noch mit dem elektrischen Telegraphen in Verbindung bringen und zu mannigfaltigen Zwecken benutzen. Dieselbe Uhr kann z. B. einen Registrirapparat an der Münchener und einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der Durchgang derselben Sterne durch den Meridian beobachtet wird, so lässt sich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographische Längendifferenz ableiten.

Lamont ersetzte den Papierstreifen durch eine mit Russ geschwärzte Metalltrommel, welche durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit um eine horizontale Axe gedreht wird. Auf beiden

Seiten der Walze ragt die stählerne Umdrehungsaxe vor und ruht auf zwei messingenen Lagern. Die eine Hälfte dieser Axe ist nun mit einem Schraubengewinde versehen, so dass beim Umdrehen der Walze auch ein gleichförmiges Fortschieben derselben in der Richtung ihrer Längenaxe stattfindet; die Secundenpunkte, welche durch einen in Folge der Schliessung der Kette an die Walze angedrückten Stift hervorgebracht werden, bilden demnach auf derselben eine Spirale.

Die Beobachtungspunkte werden durch einen dicht neben dem ersteren angebrachten Stift markirt.

In neuerer Zeit hat man die galvanisch registrirenden Apparate durch Anwendung von Schwarzschreibern (Lehrbuch der Physik, 7. Aufl., 2. Bd., S. 409) wesentlich vervollkommnet.

Hat der Beobachter den Beobachtungsmoment in der besprochenen Weise markirt, so tritt er nun, um die Zeit dieses Momentes zu bestimmen, zur Uhr und markirt in gleicher Weise auf der Linie der Beobachtungsmarken den Moment eines zu notirenden Secundenschlages. Nehmen wir z. B. an, diese Zeitmarke sei um $3^h\,25'\,17''$ gemacht und man finde, dass der Zwischenraum zwischen ihm und der Beobachtungsmarke einer Zeitdauer von 52,7″ entspreche, so ist der Beobachtungsmoment

$$3^h\,25'\,17'' - 52{,}7'' = 3^h\,24'\,14{,}3''.$$

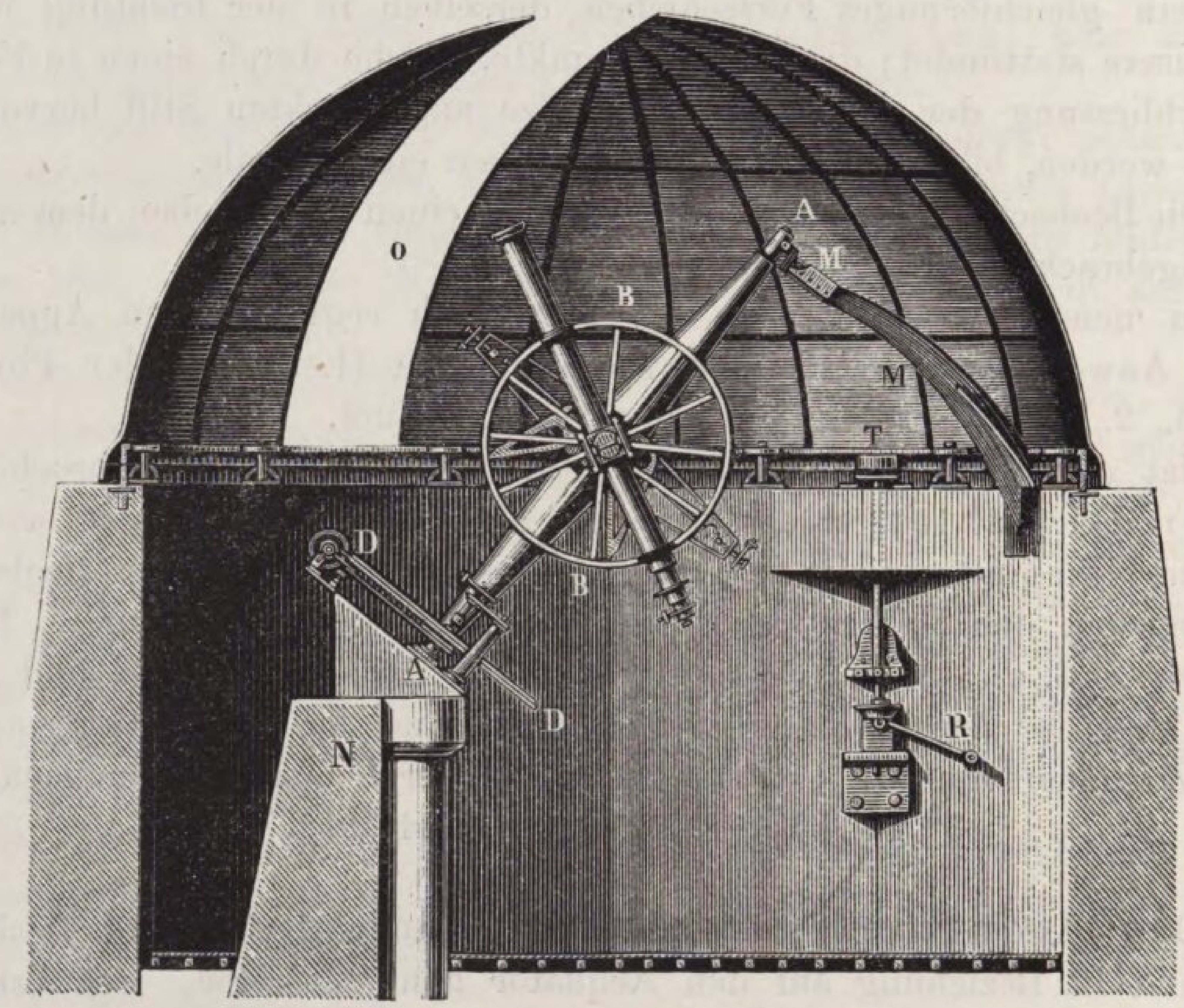
Das Aequatorealinstrument. Stundenwinkel und Declination sind in Beziehung auf den Aequator ganz dasselbe, was Azimut und Höhe für den Horizont sind, es muss sich demnach auch ein Instrument construiren lassen, welches für den Aequator dasselbe leistet, wie das Theodolit für den Horizont, welches also in gleicher Weise die Messung des Stundenwinkels und der Declination möglich macht. Ein solches Instrument wird Aequatorealinstrument genannt. Man könnte jedes Theodolit in ein Aequatorealinstrument verwandeln, wenn man den Azimutalkreis in eine solche Stellung brächte, dass er dem Aequator parallel wäre; die Umdrehungsaxe des Kreises *C*, Fig. 12, würde alsdann mit der Weltaxe zusammenfallen, der Limbus *D* würde zur Ablesung der Stundenwinkel, der Kreis *A* zur Ablesung der Declination dienen. Eine solche Aufstellung des Theodolits würde aber eben so unbequem als unsicher sein, man hat deshalb das Aequatorealinstrument in anderer Weise construirt. 14

Fig. 25 (a. f. S.) stellt ein Aequatorealinstrument dar, wie sie auf Sternwarten gewöhnlich an einem erhöhten Orte des Gebäudes aufgestellt werden. Die der Weltaxe parallele Umdrehungsaxe *AA* ist unten durch einen steinernen Pfeiler *N*, oben aber durch einen gusseisernen Bügel *M* getragen. *DD* ist der in unserer Figur zur Linie verkürzt erscheinende Aequatorealkreis, *BB* ist der Declinationskreis.

Wenn der Declinationskreis *B* vertical steht, so befindet er sich in der Ebene des Meridians und alsdann zeigt der Index des Aequatorealkreises auf Null. Der Index des Declinationskreises steht auf Null, wenn

die Axe des Fernrohres in der Ebene des Aequators steht, wenn sie also einen rechten Winkel mit der Axe AA macht.

Fig. 25.



Um das Instrument vor dem Einfluss der Witterung zu schützen, ist es mit einem gewöhnlich halbkugelförmigen Dache überdeckt, welches eine durch Klappen verschliessbare Oeffnung O hat. Das ganze Dach ruht auf Rollen, so dass man es leicht mit Hülfe der Kurbel R um seine verticale Axe drehen und die Oeffnung O nach der Seite des Himmels hinbringen kann, welche man gerade beobachten will.

Die am Aequatorealinstrument gemachten Messungen sind bei Weitem nicht der Genauigkeit fähig, wie die im Meridian am Passageinstrument und Meridiankreis gemachten; man wendet deshalb auch das Aequatorealinstrument zur Ortsbestimmung von Gestirnen nur dann an, wenn die Umstände eine Beobachtung im Meridian nicht erlauben. Das Aequatorealinstrument leistet aber dem Astronomen noch andere sehr wesentliche Dienste. Bei einem stark vergrössernden Fernrohre erscheint auch die Geschwindigkeit vergrössert, mit welcher die Gestirne in Folge ihrer täglichen Bewegung fortschreiten, und in ganz kurzer Zeit ist das Gesichtsfeld des Fernrohres durchlaufen; man muss also fortwährend verrücken, und zwar in verticaler und horizontaler Richtung, um den Stern nicht aus dem Gesichtsfelde zu verlieren. Bei dem Aequatorealinstrumente ist es nun ungleich leichter, dem Gestirne zu folgen. Ist einmal das Fernrohr des Instrumentes auf einen Stern gerichtet und dann der Declinationskreis festgestellt, so dass sich die Neigung des Fernrohres

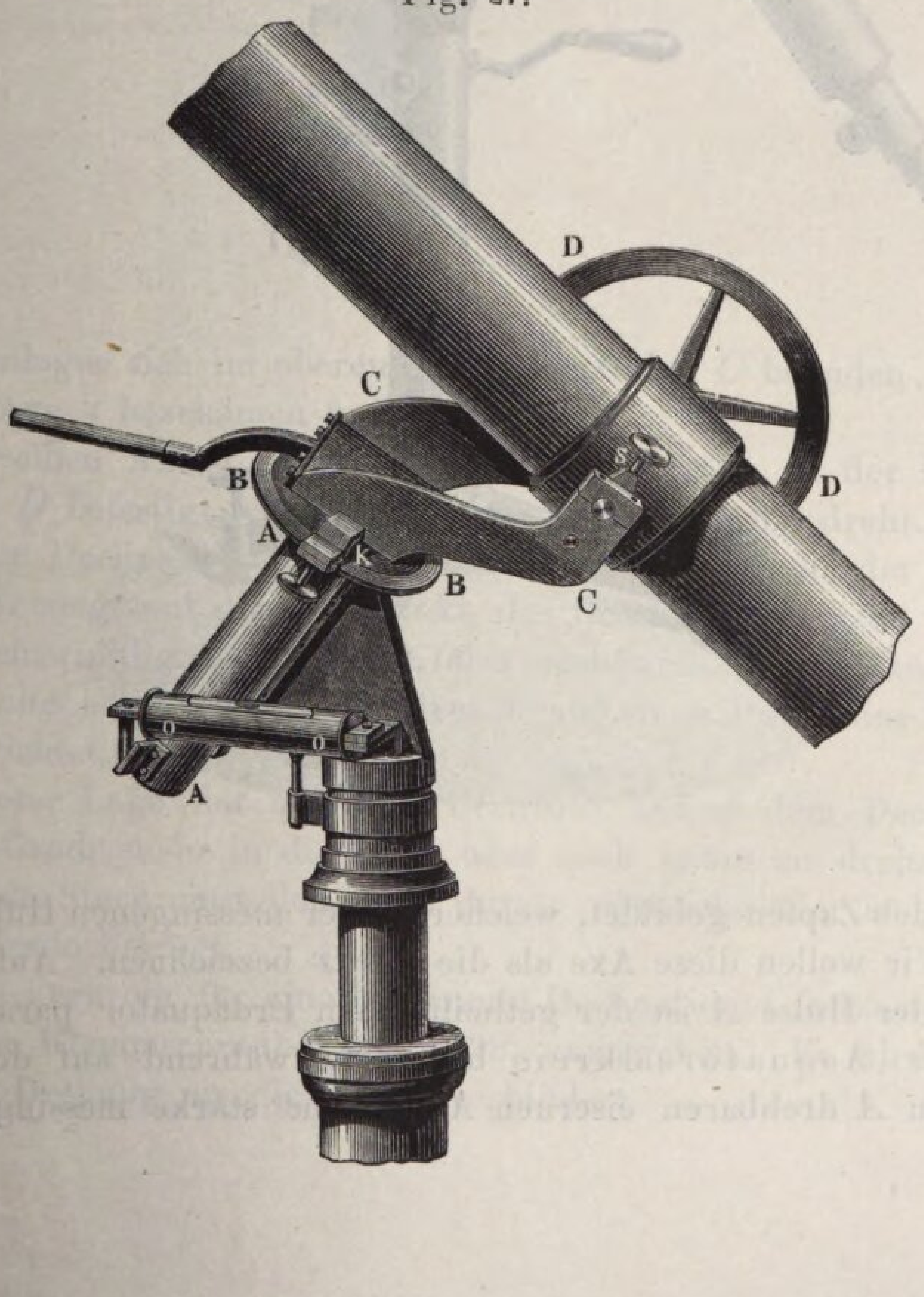
gegen die Axe A nicht mehr ändern kann, so wird bei einer Umdrehung um die Axe A die Visirlinie des Fernrohres am Himmelsgewölbe einen Kreis beschreiben, welcher mit der Bahn des Sternes zusammenfällt; es bedarf also nur einer langsamen Drehung um die eine Axe A, um das Gestirn im Gesichtsfelde zu behalten.

Die fragliche Drehung um die Axe A muss von der Art sein, dass in einer Minute (Sternzeit) der Drehungswinkel $^1/_4{}^0$, in einer Stunde 15^0 beträgt, dass also zu einer vollständigen Umdrehung 24 Stunden Sternzeit nöthig sind. Um eine gleichförmige Umdrehung um die Axe A hervorzubringen, hat man bei grösseren Aequatorealinstrumenten in der That die Axe A mit einem Uhrwerke in Verbindung gebracht, so dass das Fernrohr der Bewegung des Gestirnes folgt, welches man beobachten will.

Nach diesem Princip sind denn auch die grossen mit dem Namen der Refractoren bezeichneten Fernröhre aufgestellt, welche dazu dienen, Beobachtungen über die Beschaffenheit einzelner Gestirne, z. B. des Mondes, des Saturn u. s. w., anzustellen. Bei solchen Instrumenten wird dann auch die Drehung der Hauptaxe durch ein Uhrwerk bewerkstelligt.

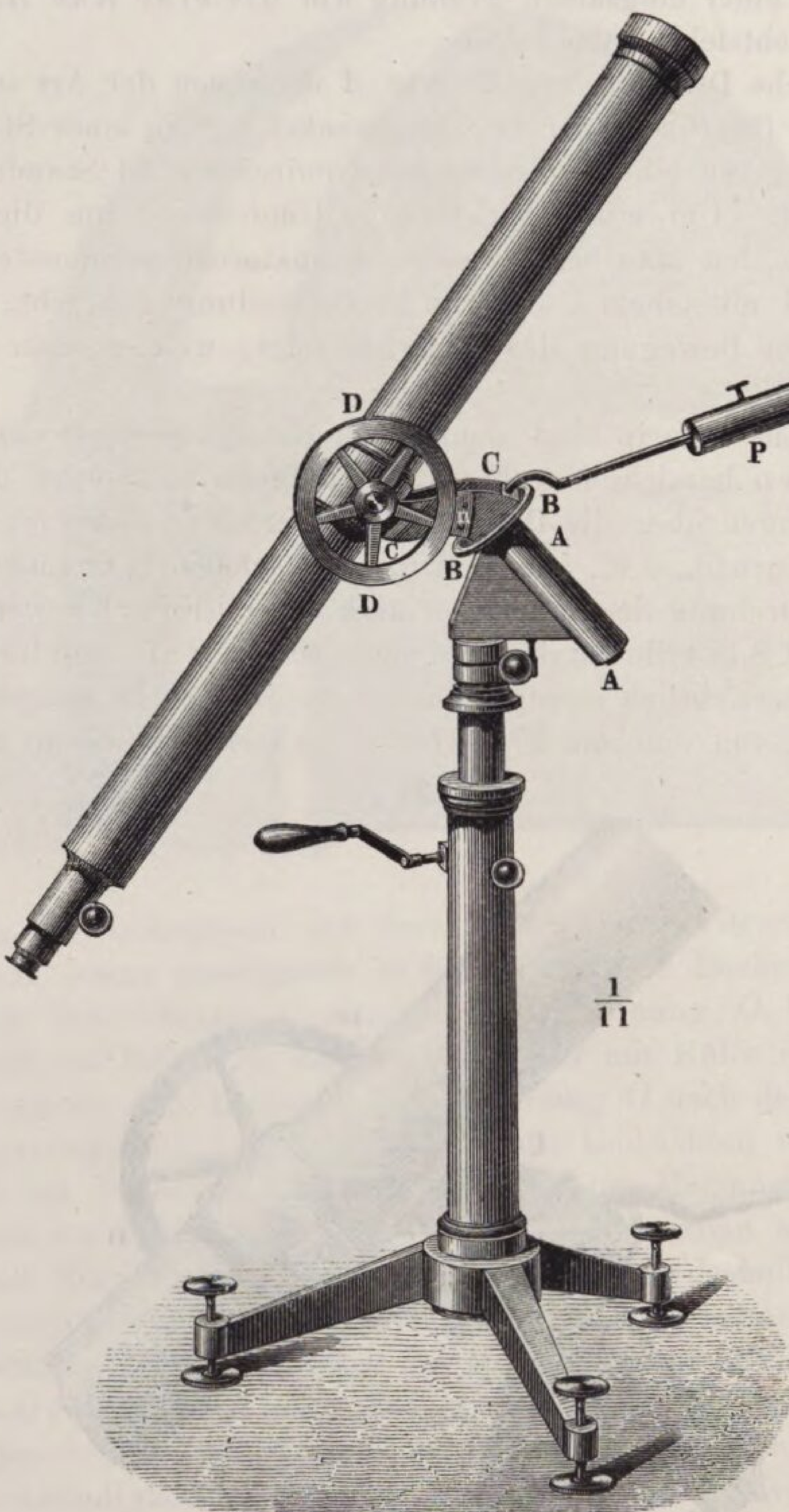
Fig. 26 (a. f. S.) ist die Totalansicht eines von Belthle und Rexroth in Wetzlar sehr übersichtlich construirten transportabeln Aequatorealinstrumentes, von welchem Fig. 27 den mittleren Theil in grösserem

Fig. 27.



Maassstab darstellt. Die Hauptaxe des Instrumentes, welches bei richtiger Einstellung desselben mit der Weltaxe parallel sein muss, wird durch

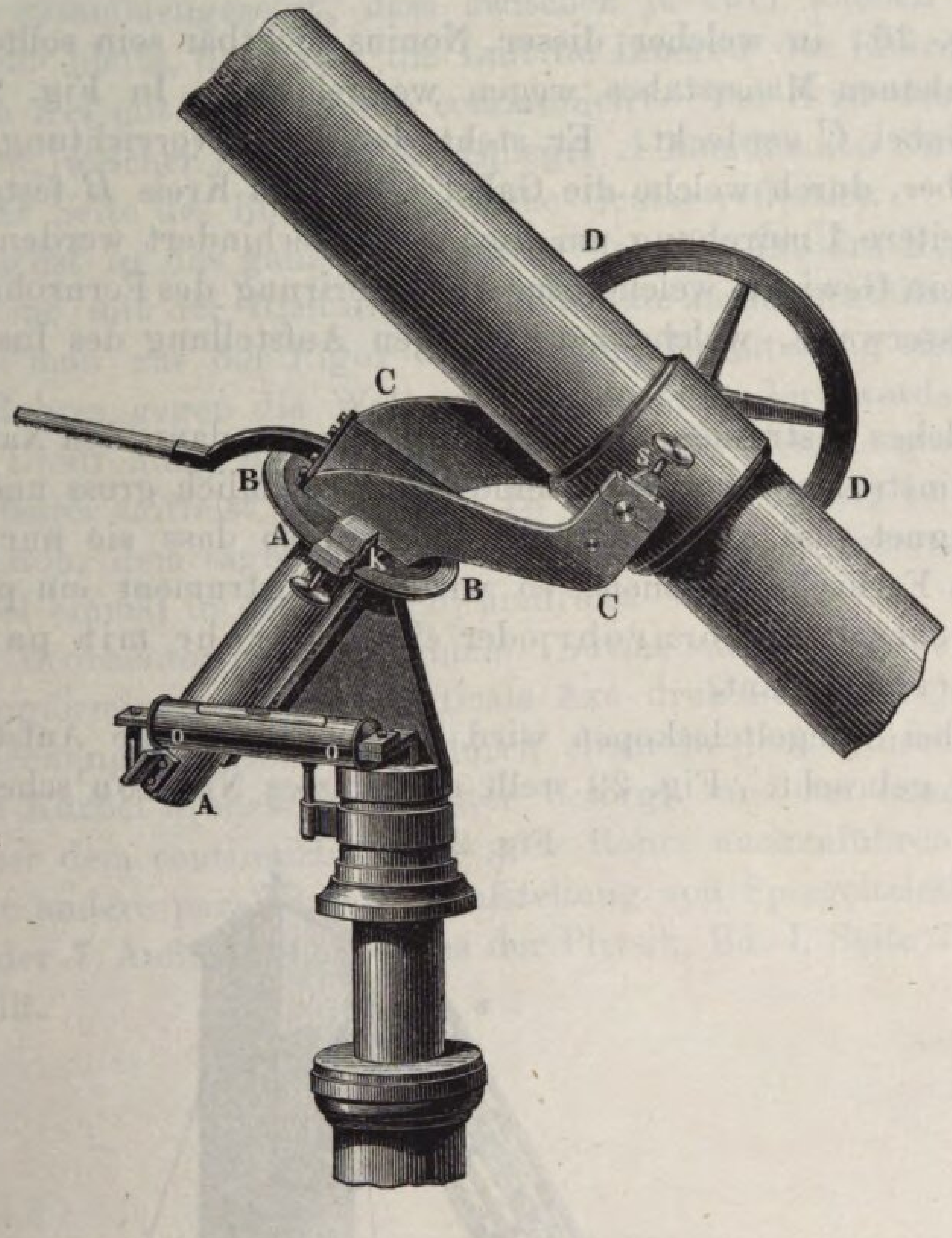
Fig. 26.



einen eisernen Zapfen gebildet, welcher in der messingenen Hülse *A* drehbar ist. Wir wollen diese Axe als die Axe x bezeichnen. Auf dem oberen Ende der Hülse *A* ist der getheilte dem Erdäquator parallele Kreis *B*, also der A e q u a t o r e a l k r e i s befestigt, während auf dem oberen Ende der in *A* drehbaren eisernen Axe x eine starke messingene Gabel

C aufgeschraubt ist. Diese Gabel C trägt nun das Fernrohr, welches zunächst um eine rechtwinklig zur Axe x stehende Axe drehbar ist,

Fig. 28.



deren Zapfenlager sich im oberen Theil der Gabel C befinden, und die wir als die Axe y bezeichnen wollen.

An derselben Axe y, welche das Fernrohr trägt, ist der Declinationskreis D befestigt, welcher sich mit dem Fernrohr dreht.

Der zum Declinationskreis gehörige Nonius n ist an der Gabel C befestigt. Er zeigt auf den Nullpunkt des Declinationskreises, wenn das Fernrohr rechtwinklig zur Weltaxe (also rechtwinklig zur Axe x) steht. In diesem Falle ist das Fernrohr gerade auf einen Punkt des Himmelsäquators gerichtet.

Aus dieser Lage hat man das Fernrohr sammt dem Declinationskreise um t Grade mehr in die Höhe oder nach unten zu drehen, wenn man auf einen Stern einstellen will, dessen nördliche oder südliche Declination t Grade beträgt.

Um das Fernrohr für eine bestimmte Declination t festzustellen, hat man nur die Klemmschraube s, Fig. 28, anzuziehen. Es wird dadurch eine fernere Drehung um die Axe y verhindert.

Der zum Aequatorealkreis B gehörige Nonius ist an der Gabel C befestigt und dreht sich mit dieser um die Axe x; er zeigt auf den Nullpunkt des Aequatorealkreises, wenn die Fernrohraxe gerade im Meridian steht.

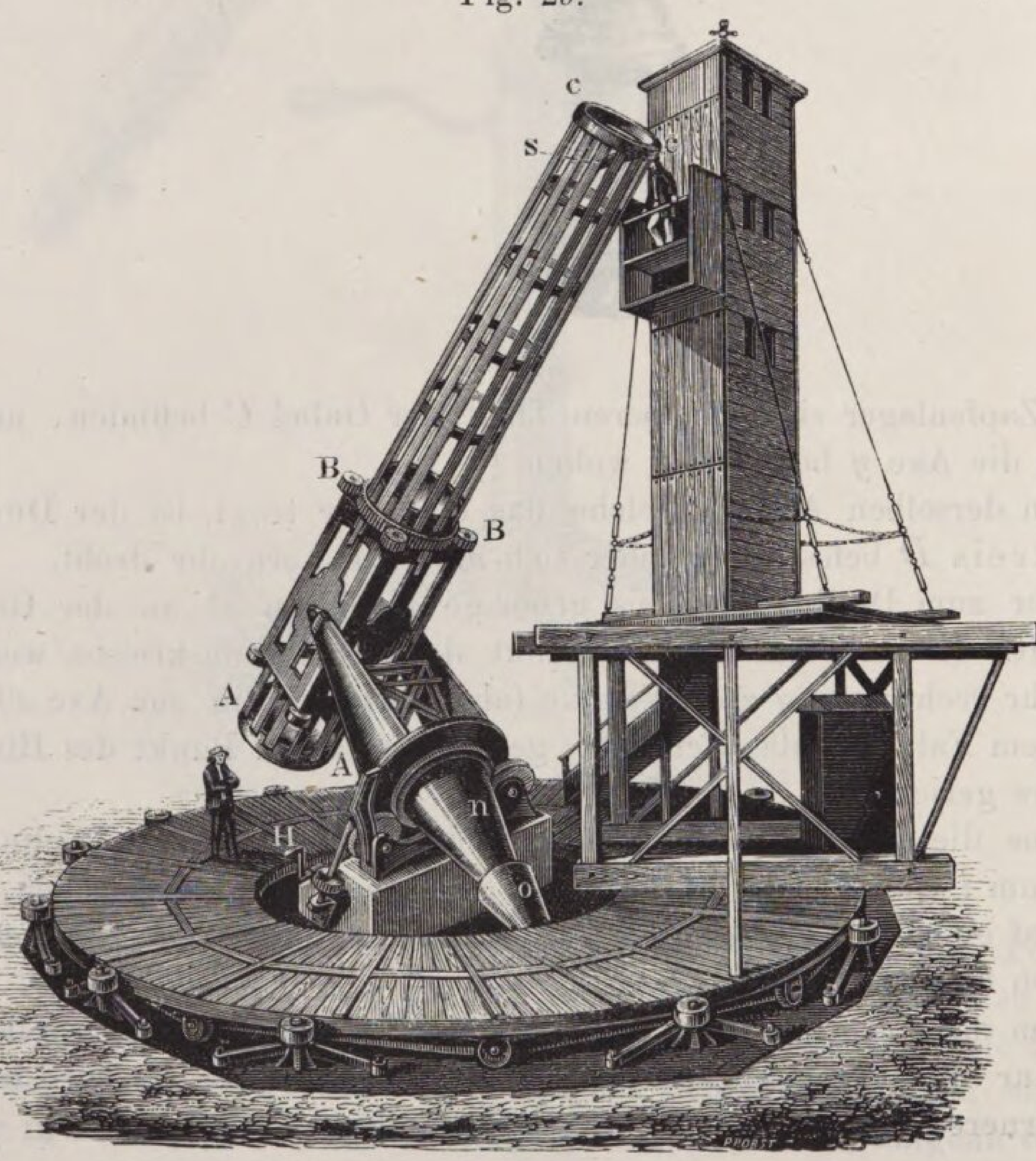
In Fig. 26, in welcher dieser Nonius sichtbar sein sollte, ist derselbe des kleinen Maassstabes wegen weggelassen. In Fig. 28 ist er durch die Gabel C verdeckt. Er steht der Klemmvorrichtung k diametral gegenüber, durch welche die Gabel C an den Kreis B festgeklemmt, also eine weitere Umdrehung um die Axe x verhindert werden kann.

P ist ein Gewicht, welches zur Aequilibrirung des Fernrohres, und o ist eine Wasserwage, welche zur richtigen Aufstellung des Instrumentes dient.

Ein solches Instrument führt gewöhnlich nur dann den Namen eines Aequatorealinstrumentes, wenn seine Kreise ziemlich gross und zu Messungen geeignet sind. Sind sie aber kleiner, so dass sie nur zur Einstellung des Fernrohres dienen, so wird das Instrument ein parallaktisch aufgestelltes Fernrohr oder ein Fernrohr mit parallaktischem Stativ genannt.

Auch bei Spiegelteleskopen wird die parallaktische Aufstellung in Anwendung gebracht. Fig. 29 stellt ein grosses Newton'sches Spiegel-

Fig. 29.



teleskop dar, welches Lassel in Sandfield-Park bei Liverpool parallaktisch aufstellen liess. Der bei A befindliche Hohlspiegel hat 4′ Durchmesser und 36′ 7″ Brennweite. Das Rohr ist aus Streifen starken Eisenblechs so zusammengesetzt, dass zwischen je zwei solchen Streifen ein freier Raum bleibt, dass also die Luft im Inneren des Rohres nach allen Seiten hin frei mit der äusseren communicirt. Bei S ist der Planspiegel angebracht, welcher die vom Hohlspiegel A kommenden Strahlen gegen das an der Seite des Rohres befindliche Ocular reflectirt.

Zunächst ist das ganze Instrument um die Axe des Kegels n drehbar, welche mit der Richtung der Weltaxe zusammenfällt; dann aber kann, wie man aus der Figur ohne weitere Erläuterung sieht, der Winkel des Rohres gegen die Weltaxe beliebig verändert werden.

Die Umdrehung des Instrumentes um die Weltaxe geschieht durch einen Arbeiter mittelst der Kurbel H. Die Einrichtung ist so getroffen, dass das Rohr dem täglichen Lauf der Gestirne folgt, wenn der Arbeiter die Kurbel einmal in der Secunde umdreht.

Der Beobachter steht auf einem Thürmchen von Holz, welches auf einem ringförmigen um eine verticale Axe drehbaren Holzgestelle steht; die Umdrehung derselben wird durch einen in dem Häuschen K sitzenden, eine Kurbel drehenden Arbeiter besorgt, und hat zum Zweck, den Beobachter dem continuirlich bewegten Rohre nachzuführen.

Eine andere parallaktische Aufstellung von Spiegelteleskopen ist bereits in der 7. Aufl. des Lehrbuchs der Physik, Bd. I, Seite 733, Fig. 797, dargestellt.

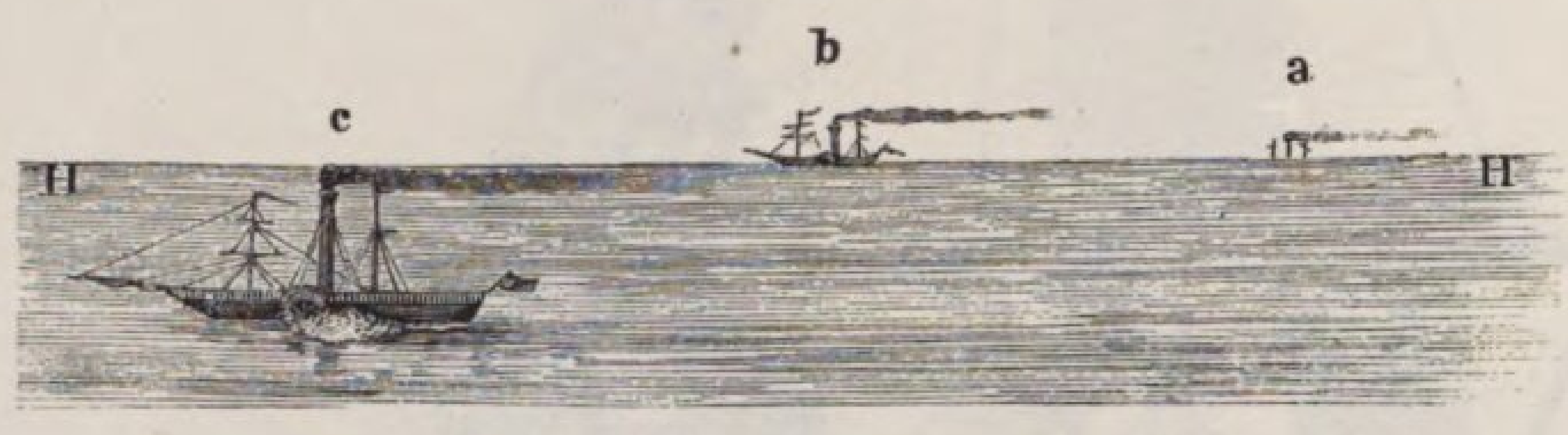
Zweites Capitel.

Gestalt, Grösse und Axendrehung der Erde.

15 **Krümmung der Erdoberfläche.** Bisher haben wir die Erdoberfläche als eine Ebene betrachtet, wie sie, die Unebenheiten der Gebirge abgerechnet, auf den ersten Anblick wohl auch erscheinen mag; eine aufmerksame Beobachtung der Meeresoberfläche zeigt uns aber schon, dass die Erdoberfläche gekrümmt sein muss.

Wenn man von einem etwas erhöhten Standpunkte, sei es von einem Thurme oder einem Berge am Ufer, oder von den Masten eines Schiffes aus, auf das offene Meer hinausschaut, so sieht man von einem hinlänglich entfernten Schiffe nur die Spitzen der Masten oder des Schornsteins, wie es bei *a*, Fig. 30, dargestellt ist. Wenn sich das Schiff dem Beob-

Fig. 30.



achter nähert, so scheint es allmälig aus dem Wasser aufzutauchen, bis es endlich vollständig sichtbar wird und nun gerade auf der Gränzlinie *HH* zwischen Himmel und Meer zu ruhen scheint, wie bei *b*. Bei fortdauernder Annäherung scheint nun das Schiff auf der Meeresoberfläche von der Linie *HH* herabzusteigen, so dass es mehr und mehr, und wenn der Beobachter hoch genug steht, endlich ganz auf die Meeresfläche projicirt erscheint, wie bei *c*.

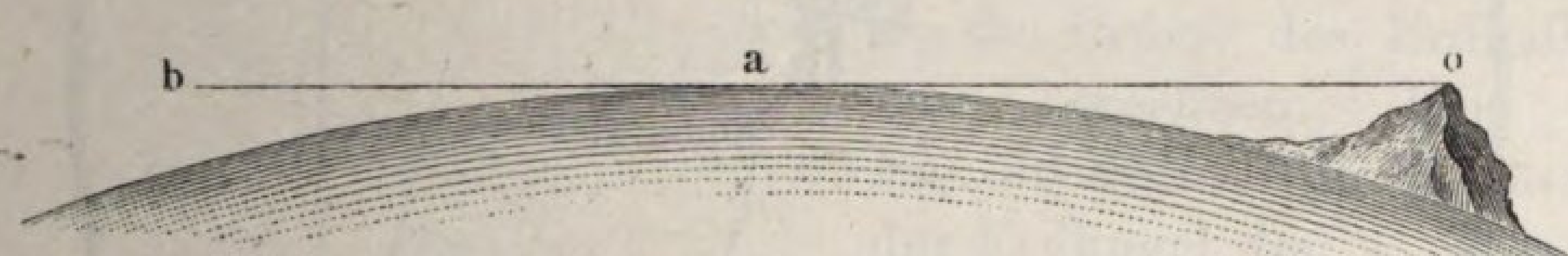
Auch auf Landseen von einiger Ausdehnung zeigt sich die eben besprochene Erscheinung; Fig. 31 stellt dieselbe dar, wie man sie auf dem Bodensee beobachtet, wenn man sich 10 bis 12 Fuss über dem Wasserspiegel, etwa auf dem Verdeck eines Dampfschiffes, befindet. Um die fernen Schiffchen hinlänglich deutlich zu sehen, muss man jedoch ein, wenn auch schwach vergrösserndes Fernrohr anwenden.

Fig. 31.



Diese Erscheinung zeigt offenbar, dass die Meeresoberfläche gekrümmt sei. Denkt man sich von dem Auge des Beobachters eine gerade Linie nach irgend einem Punkte der Linie *HH*, Fig. 30, gezogen, welche Wasser und Himmel scheidet und welche Horizontlinie genannt wird, so ist diese Linie offenbar eine Tangente der krummen Meeresoberfläche, wie dies Fig. 32 erläutert, in welcher *o* den Standpunkt des Be-

Fig. 32.

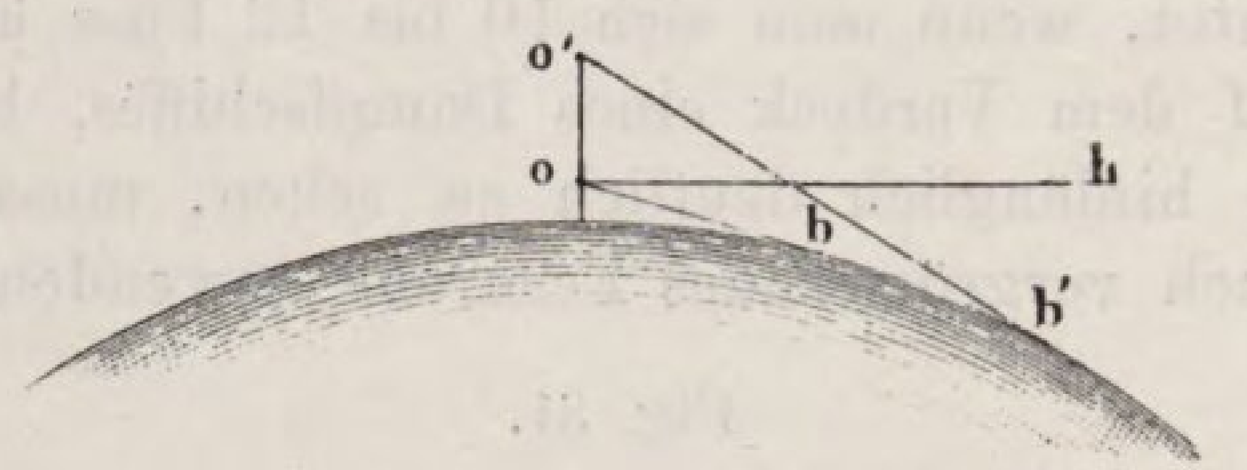


obachters, *oab* eine Gesichtslinie bezeichnet, welche die Meeresoberfläche in *a* streift.

Sieht der Beobachter nichts als Himmel und Meer, so begränzt die Scheidelinie zwischen beiden, also die rings um ihn herumlaufende Horizontlinie, welche die Gesammtheit aller Punkte enthält, in welchen die von dem Auge ausgehenden Gesichtslinien die Meeresoberfläche tangiren, eine Fläche, welche wir den Gesichtskreis nennen wollen. Je höher nun der Beobachter sich über den Spiegel des Meeres erhebt, desto mehr

wächst, wie dies durch Fig. 33 erläutert wird, der von ihm übersehene

Fig. 33.



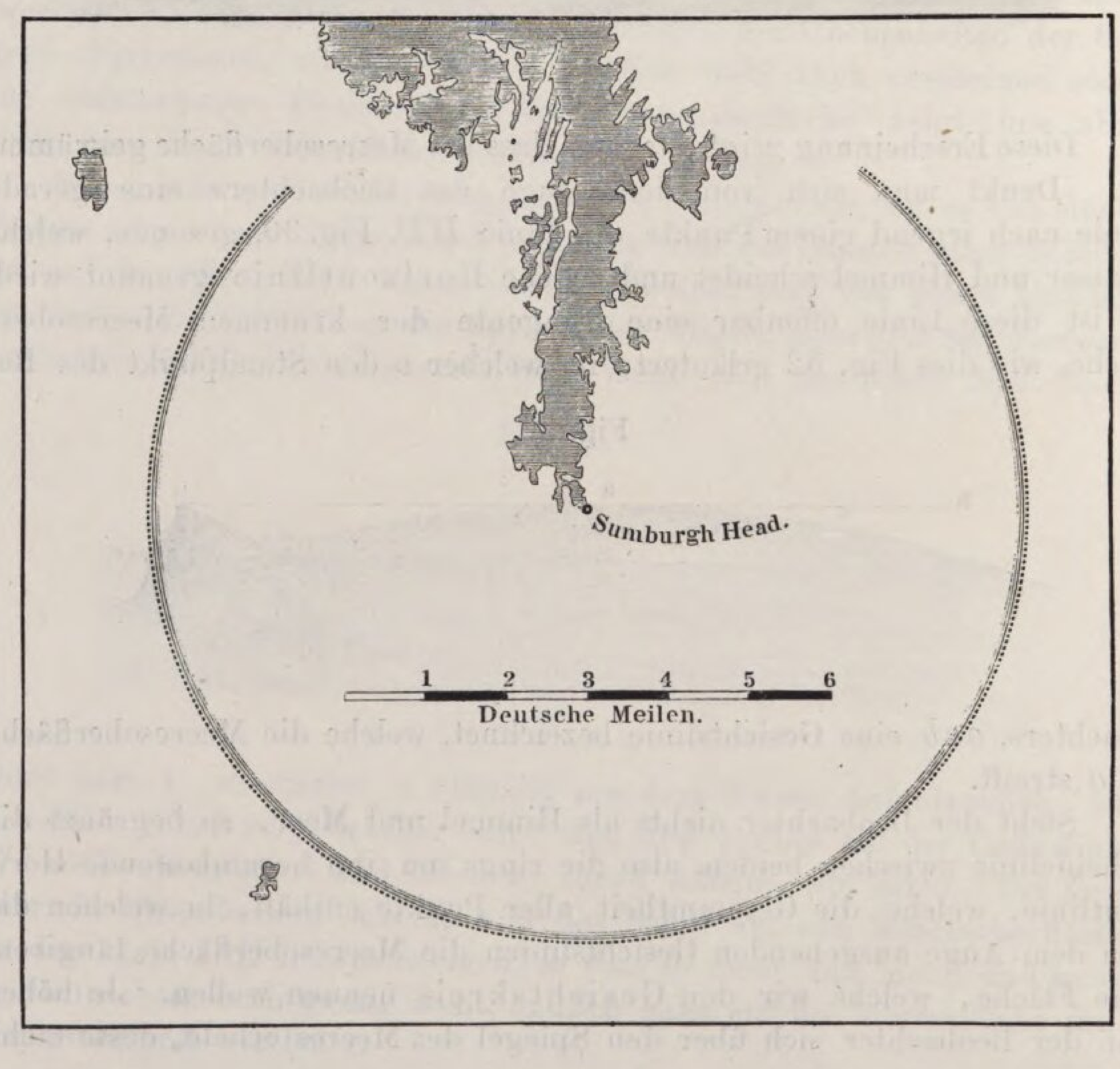
Gesichtskreis, desto mehr rückt die Horizontlinie von ihm weg. Der Halbmesser des Gesichtskreises ist ungefähr

19 800′,	wenn	sich	der	Beobachter		10′
62 600	„	„	„	„		100
198 000	„	„	„	„		1 000
626 400	„	„	„	„		10 000

hoch über dem Spiegel des Meeres befindet.

Fig. 34 stellt den Erleuchtungskreis des 280 Pariser Fuss hohen Leuchtthurms von Sumburgh Head (der Südspitze von Mainland, der grössten unter den shetländischen Inseln) dar, d. h. den Kreis, innerhalb

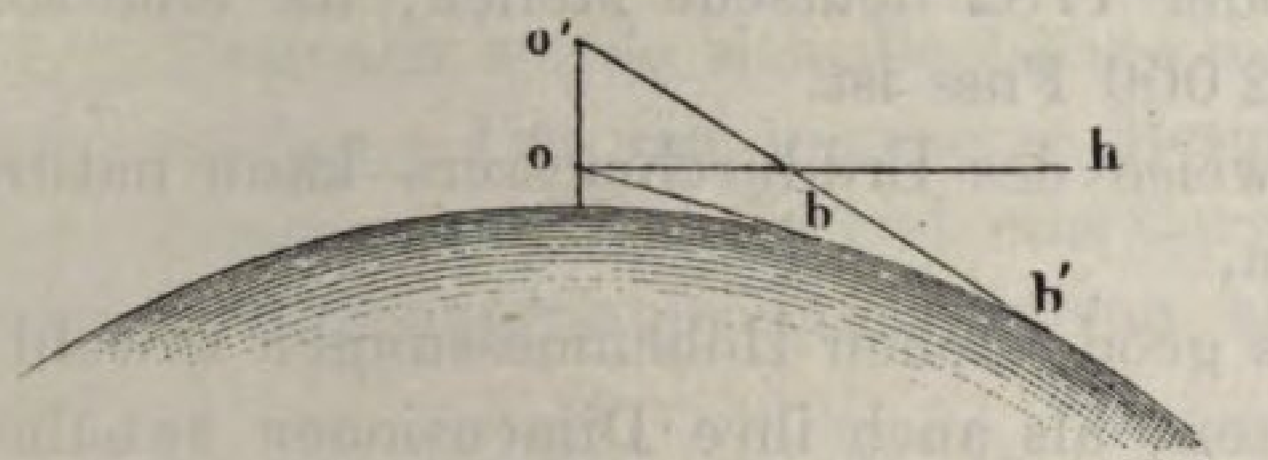
Fig. 34.



dessen von dem Verdeck eines Schiffes das Feuer jenes Leuchtthurms sichtbar ist.

Aus dem Gesagten geht auch hervor, dass eine vom Auge des Beobachters nach einem Punkte der Horizontlinie gezogene Linie *ob* keineswegs mit der durch *o* gelegten wagerechten *oh* zusammenfällt, sondern dass die Visirlinie *ob* einen Winkel *boh* mit *oh* macht, welcher die Depression des Horizontes genannt wird. Die Depression des Horizontes wächst natürlich auch, wenn der Beobachter aufsteigt. Die Depression des Horizontes ist

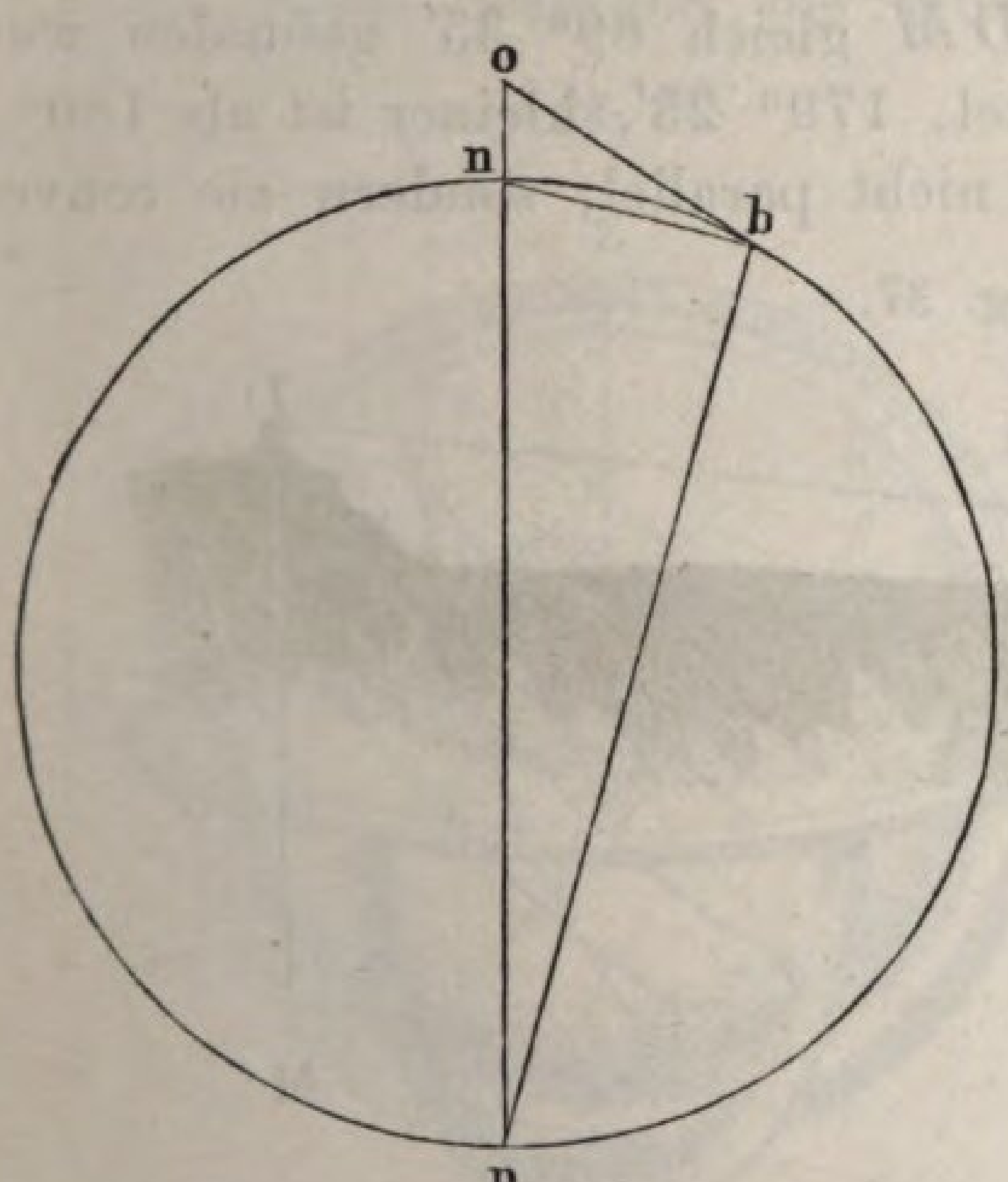
Fig. 35.



3,5′	für	eine	Erhebung	von	10′
11,0	„	„	„	„	100
34,7	„	„	„	„	1000
1⁰ 50,0	„	„	„	„	10000

Alle diese Erscheinungen deuten nun darauf hin, dass wenigstens die Meeresoberfläche kugelförmig gekrümmt sei. Da aber die Oberfläche der Meere viel grösser ist als die der Länder, da ferner die Erhebung der Continente über den Meeresspiegel verhältnissmässig ganz unbedeutend ist, so können wir schliessen, dass die ganze Erde eine Kugel sei.

Fig. 36.



Gehen wir von dieser Annahme aus, so können wir aus den oben mitgetheilten Werthen für den Radius des Gesichtskreises die Grösse des Erdhalbmessers berechnen. Der Kreis Fig. 36 stelle einen Durchschnitt der Erdkugel dar, so ist *np* ein Durchmesser derselben. *o* sei nun der Standpunkt des Beobachters, *ob* eine durch sein Auge an die Erdoberfläche gelegte Tangente, so sind die Dreiecke *nob* und *obp* einander ähnlich und man hat

$$no : ob = ob : op$$

und daraus:

$$op = \frac{ob^2}{no}.$$

Wenn die Erhebung $no = 1000'$ ist, so ist $ob = 198\,000'$, es ist also

$$op = \frac{198000^2}{1000} = 39\,204\,000.$$

Ziehen wir davon $no = 1000$ ab, so bleibt für den Durchmesser der Erde $D = 39\,203\,000$ Fuss oder 1782 deutsche Meilen, da eine solche Meile in runder Zahl gleich 22 000 Fuss ist.

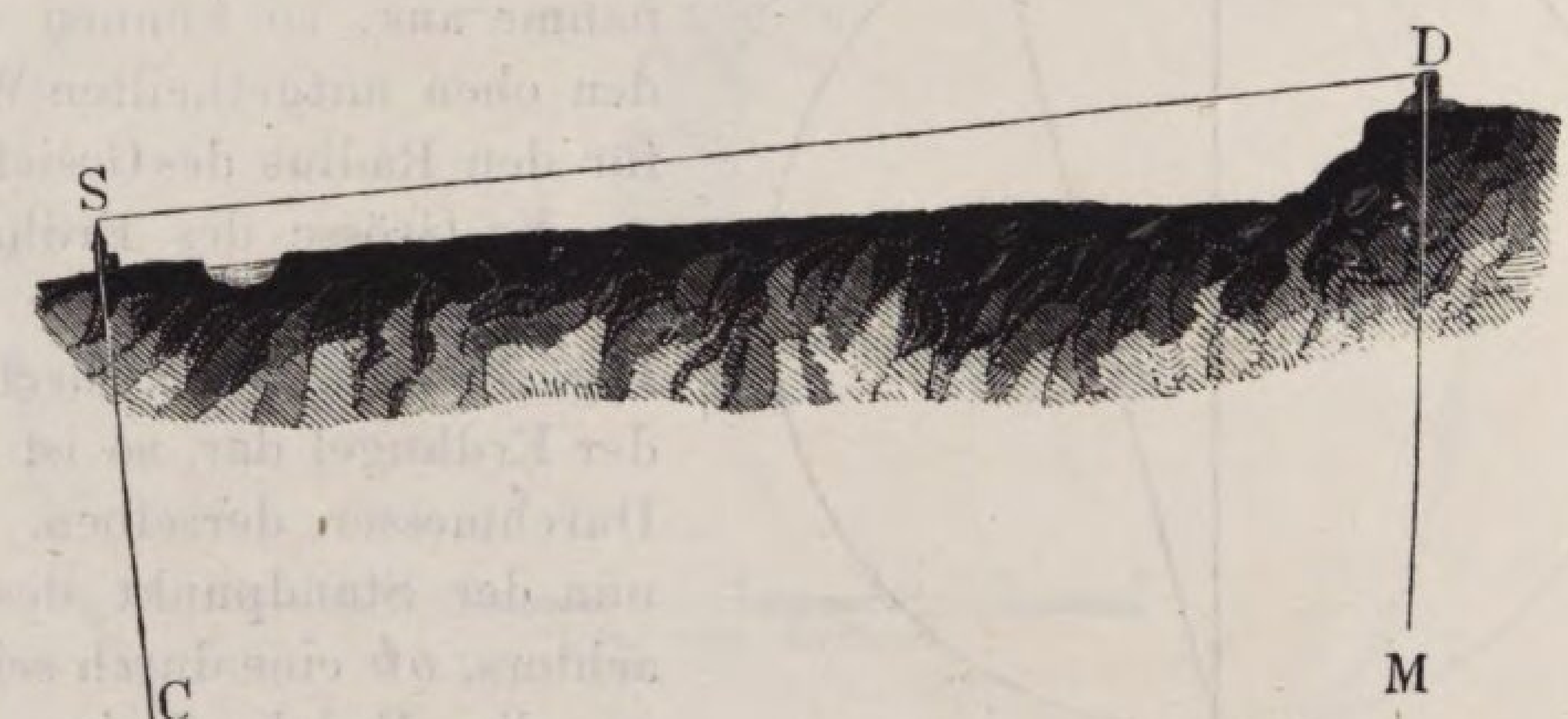
Eine solche Bestimmungsweise des Erddurchmessers kann natürlich keine genauen Resultate liefern.

Sehr gut lassen sich aus geodetischen Höhenmessungen sowohl die Krümmung der Erde nachweisen, als auch ihre Dimensionen annähernd berechnen.

Wenn man nämlich von zwei möglichst weit von einander entfernten Orten, die so gelegen sind, dass man von jedem aus den anderen sehen kann, den Winkel misst, welchen an jedem dieser Orte die Verticale desselben mit der beide Orte verbindenden Visirlinie macht, so beträgt die Summe dieser Winkel nicht 180^0, wie es sein müsste, wenn die Verticalen beider Orte parallel wären. Aus der Differenz dieser Winkelsumme von 180^0 lässt sich der Halbmesser der Erde berechnen, wenn die Entfernung beider Orte bekannt ist.

Ein Beispiel mag dies erläutern. Nach den vom Obristen Klose im Jahre 1833 mit einem achtzölligen Höhenkreise gemachten Messungen macht die Visirlinie SD vom Strassburger Münster nach dem Rande des Durlacher Wartthurms mit der Verticalen SC einen Winkel von $89^0\,48'$, während der Winkel SDM gleich $89^0\,35'$ gefunden wurde. Da die Summe dieser beiden Winkel, $179^0\,23'$, kleiner ist als 180^0, so sind also die Linien SC und DM nicht parallel, sondern sie convergi-

Fig. 37.



ren, und der Winkel, unter welchem sie im Mittelpunkte der Erde (vollkommene Kugelgestalt vorausgesetzt) zusammentreffen, ist $180^0 - (179^0\,23') = 37'$.

Da nun aber die Entfernung des Strassburger Münsters vom Durlacher Wartthurme 71 058 Meter beträgt, so hat man, um zu berechnen, wie lang $^1/_4$ des Erdumfanges ist, die Proportion:

$$37' : 71\,058^{m} = 90^{0} : x$$

oder:

$$37' : 71\,058^{m} = 5400' : x,$$

also

$$x = 10\,370\,000 \text{ Meter.}$$

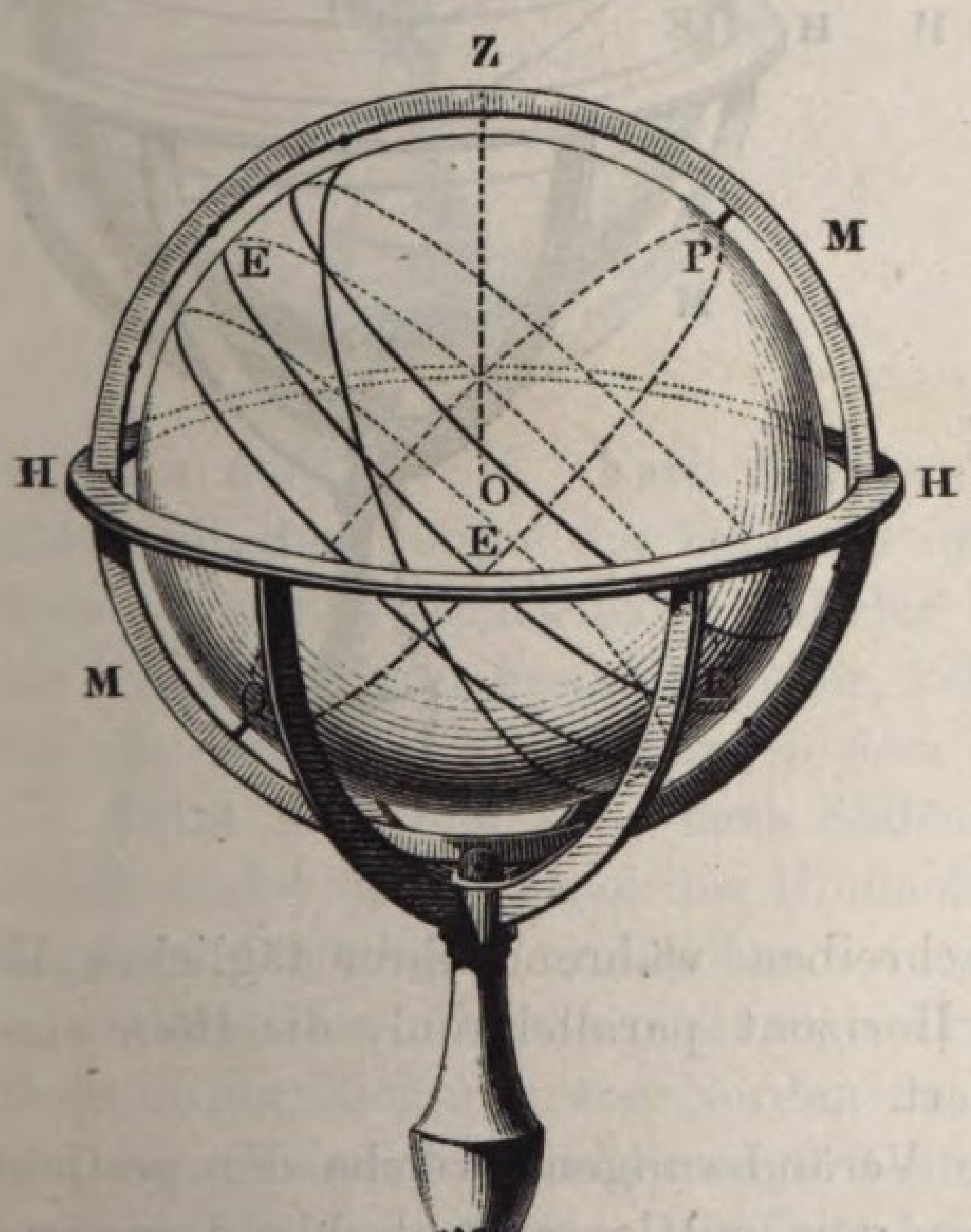
Demnach würde sich die Länge des Erdhalbmessers gleich 900 Meilen ergeben. Um ein genaueres Resultat zu erhalten, müsste man an den gemessenen Winkeln erst eine Correction wegen der atmosphärischen Strahlenbrechung anbringen, wovon aber hier noch nicht die Rede sein kann.

Weitere Beweise für die Kugelgestalt der Erde liefern die sogenannten Reisen um die Welt und die Gestalt des Erdschattens, wie man sie bei Mondfinsternissen zu beobachten Gelegenheit hat; am entschiedensten aber ergiebt sie sich, wenn man mit Aufmerksamkeit den Anblick des gestirnten Himmels in verschiedenen Gegenden vergleicht.

Bestimmung der Kugelgestalt durch astronomische Beobachtungen. Im vorigen Capitel wurde bereits angeführt, dass für das mittlere Deutschland die Weltaxe ungefähr einen Winkel von 50 Graden, und also die Ebene des Aequators einen Winkel von 40 Graden mit der Ebene des Horizontes mache. Das ändert sich nun, sobald man nach Norden oder nach Süden reist. 16

Je weiter man nach Norden geht, desto mehr steigt der Polarstern in die Höhe, während der Himmelsäquator sich in gleichem Maasse gegen die Ebene des Horizontes senkt. Es nimmt also die Zahl der Sterne zu, welche nicht auf- und nicht untergehen; dagegen wird aber auch ein immer grösserer Theil der südlichen Hälfte der Himmelskugel ganz unsichtbar, der Gürtel der Sterne, welche auf- und untergehen, wird immer schmäler.

Fig. 38.



Am besten kann man sich diese Veränderungen anschaulich machen, wenn man einen Himmelsglobus zur Hand nimmt. Fig. 38 zeigt einen Himmelsglobus in derjenigen Stellung, wie sie den Erscheinungen des gestirnten Himmels im mittleren Deutschland entspricht; der Nordpol des Himmels steht 50⁰ über der Ebene des Ho-

rizontes, mit welcher der Himmelsäquator einen Winkel von 40⁰ macht.

Soll der Himmelsglobus die Erscheinungen nördlicher gelegener Gegenden darstellen, so muss man den Messingring *M* so drehen, dass die Axe *PQ* sich mehr und mehr der Verticalen nähert. In der Stellung Fig. 39 z. B. zeigt der Himmelsglobus die Erscheinungen des gestirnten Himmels, wie sie ungefähr an den nördlichsten Gränzen Europas wahrgenommen werden. Die Zenithdistanz des Polarsterns beträgt keine 20⁰ mehr, die Plejaden gehen nicht mehr unter, sondern man sieht ihre obere und ihre untere Culmination. Sirius und Spica erheben sich am südlichen Himmel kaum noch über den Horizont, während Antares im Scorpion und Fomalhaut im südlichen Fisch gar nicht mehr sichtbar werden.

Könnte man vom Nordcap aus noch so weit nach Norden fortgehen, wie das Nordcap von Frankfurt am Main liegt, so würde man zu einem Punkte kommen, wo der Nordpol des Himmels im Zenith liegt und der Himmelsäquator in die Ebene des Horizontes fällt, wie es Fig. 40 darstellt. Hier ist nur noch die nördliche Hemisphäre des Himmels sicht-

Fig. 39.

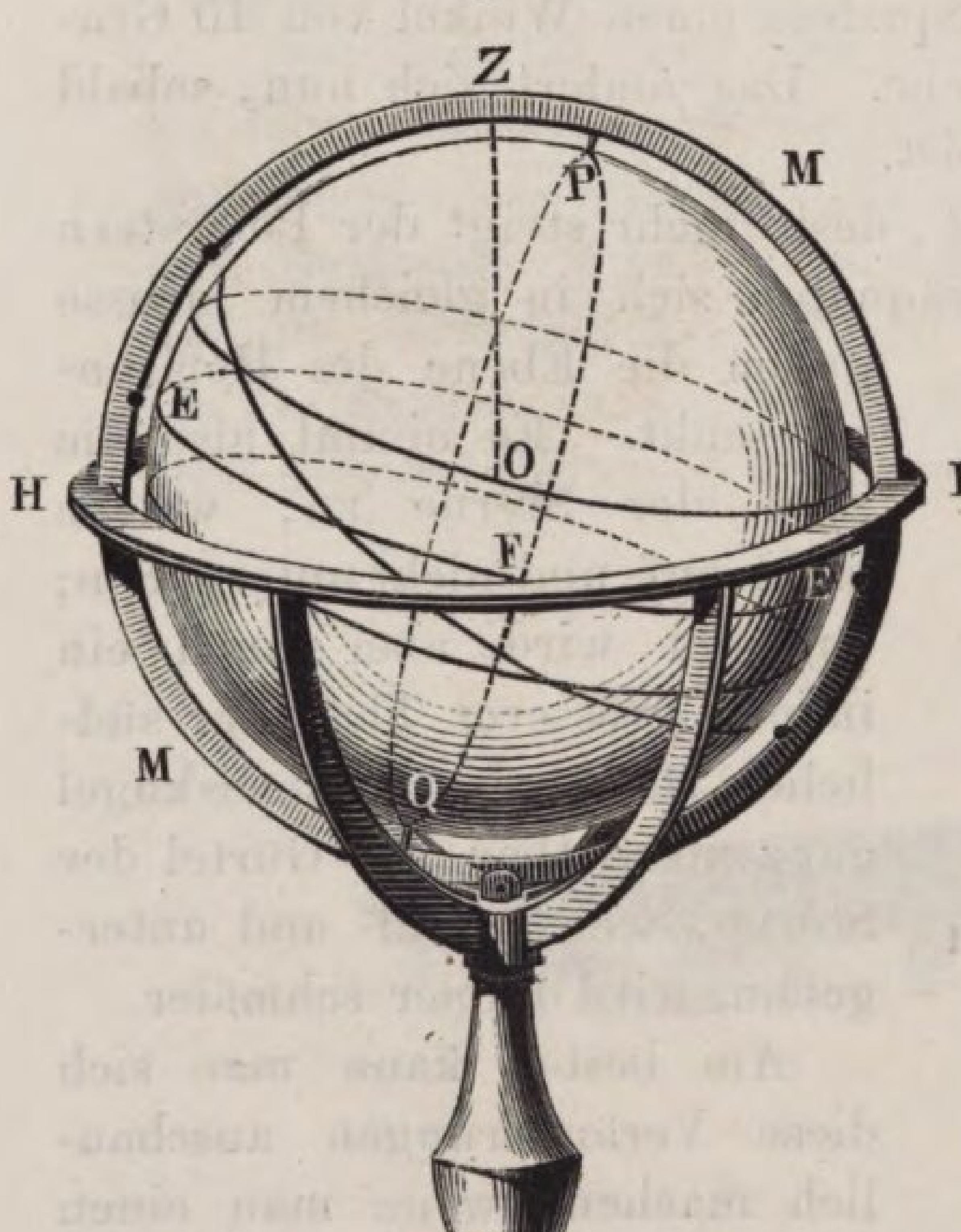
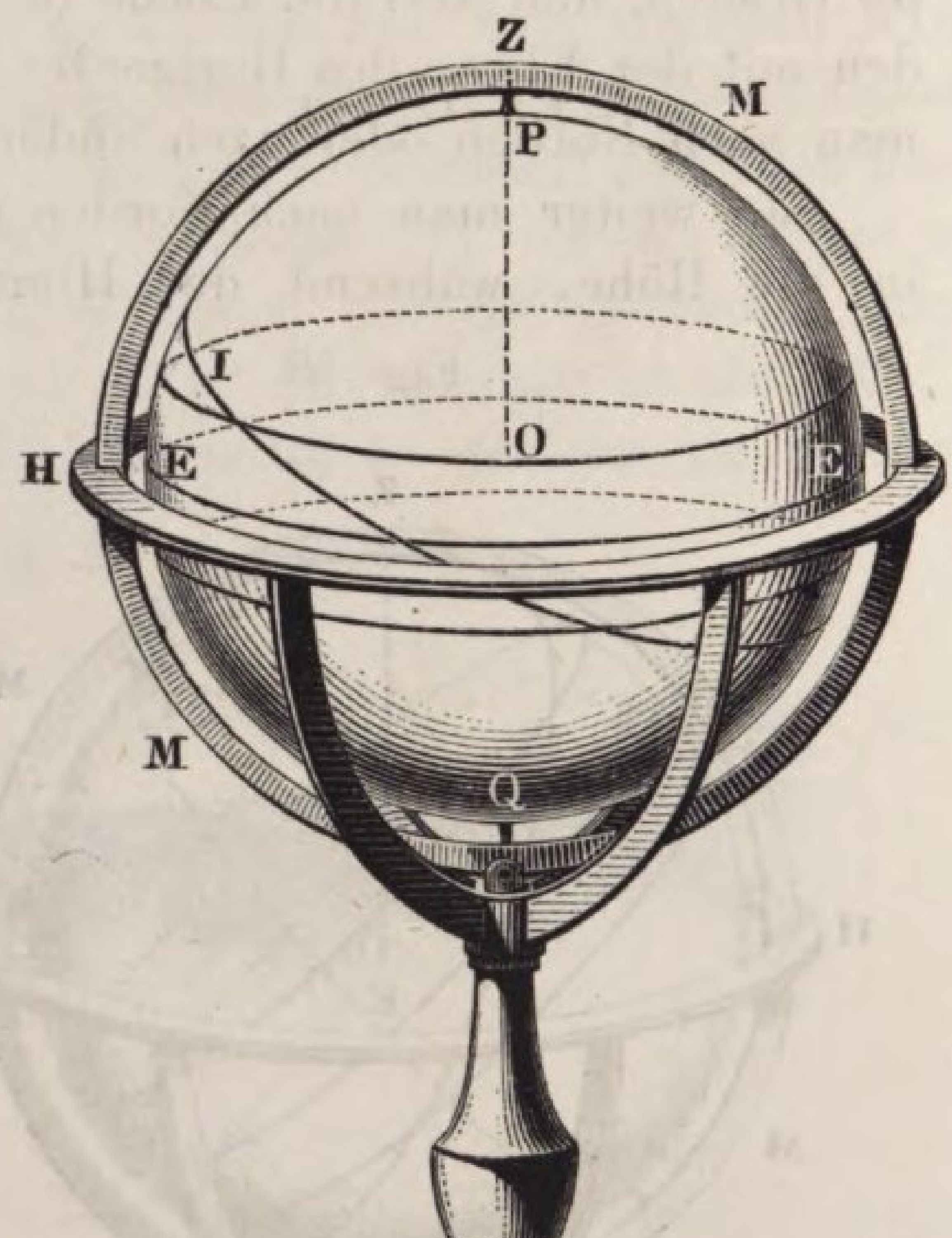


Fig. 40.



bar. Alle sichtbaren Sterne beschreiben während ihrer täglichen Bewegung Kreise, welche mit dem Horizont parallel sind, die Höhe eines Sternes bleibt also stets unverändert.

Verfolgen wir nun auch die Veränderungen, welche der gestirnte Himmel darbieten wird, wenn man vom mittleren Deutschland aus nach Süden geht. Der Nordpol des Himmels senkt sich immer mehr und

immer kleiner wird der Kreis der Sterne, welche nicht auf- und nicht untergehen. Auf den Inseln des grünen Vorgebirges z. B. ist der Polarstern nur noch 15⁰ über dem Horizont.

Das Sternbild des grossen Bären gehört hier nicht mehr zu denen, welche stets über dem Horizont bleiben; dagegen bleibt auch nur ein kleiner Theil des südlichen Himmels unsichtbar, und das schöne Sternbild des Kreuzes glänzt am südlichen Himmel. Fig. 41 stellt ungefähr die Stellung der Himmelskugel gegen den Horizont dar, wie sie auf den Inseln des grünen Vorgebirges beobachtet wird.

Noch weiter nach Süden fortschreitend, gelangt man endlich an Orte, wo der Himmelsäquator im Zenith erscheint, Fig. 42, wie dies z. B.

Fig. 41.

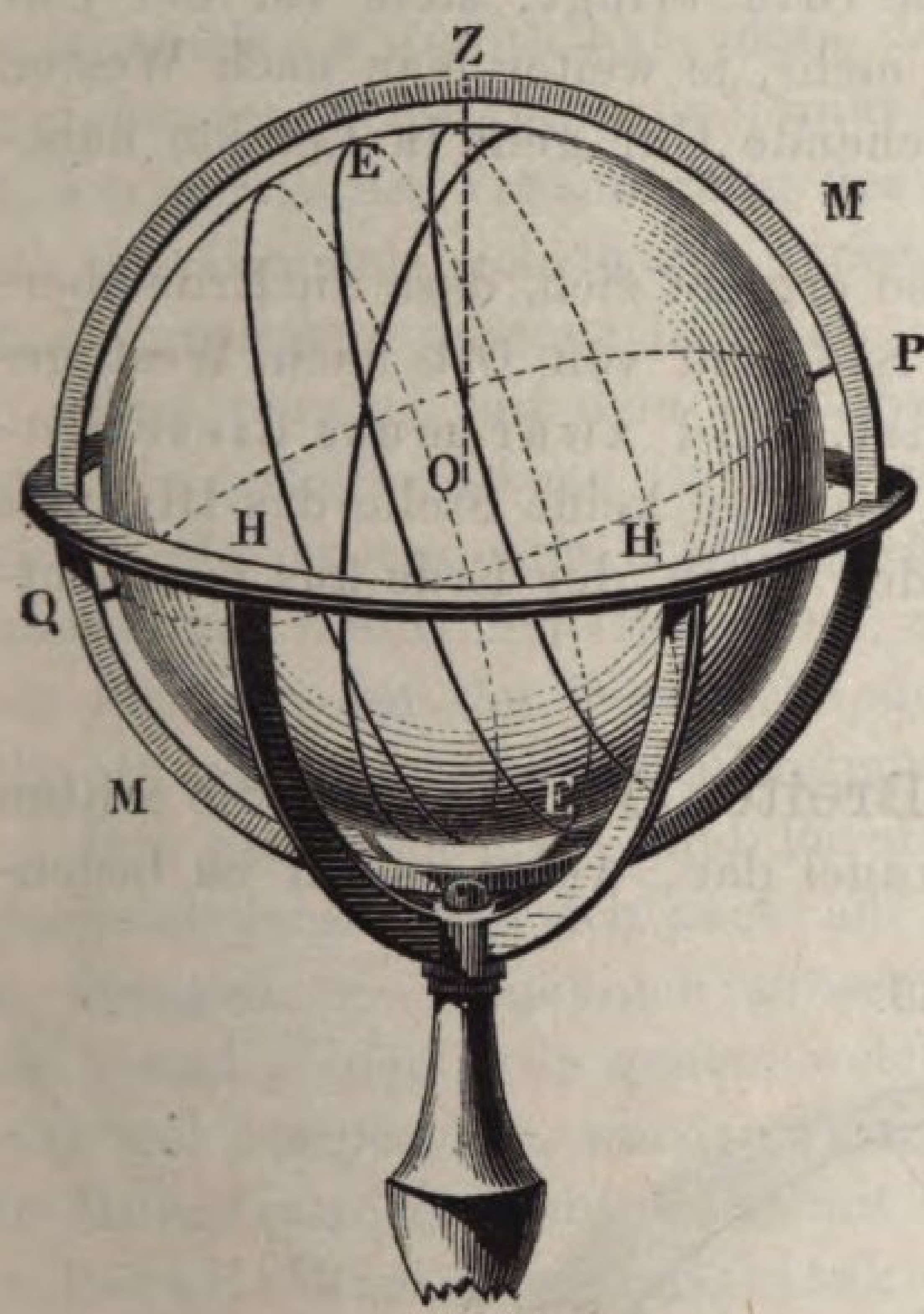
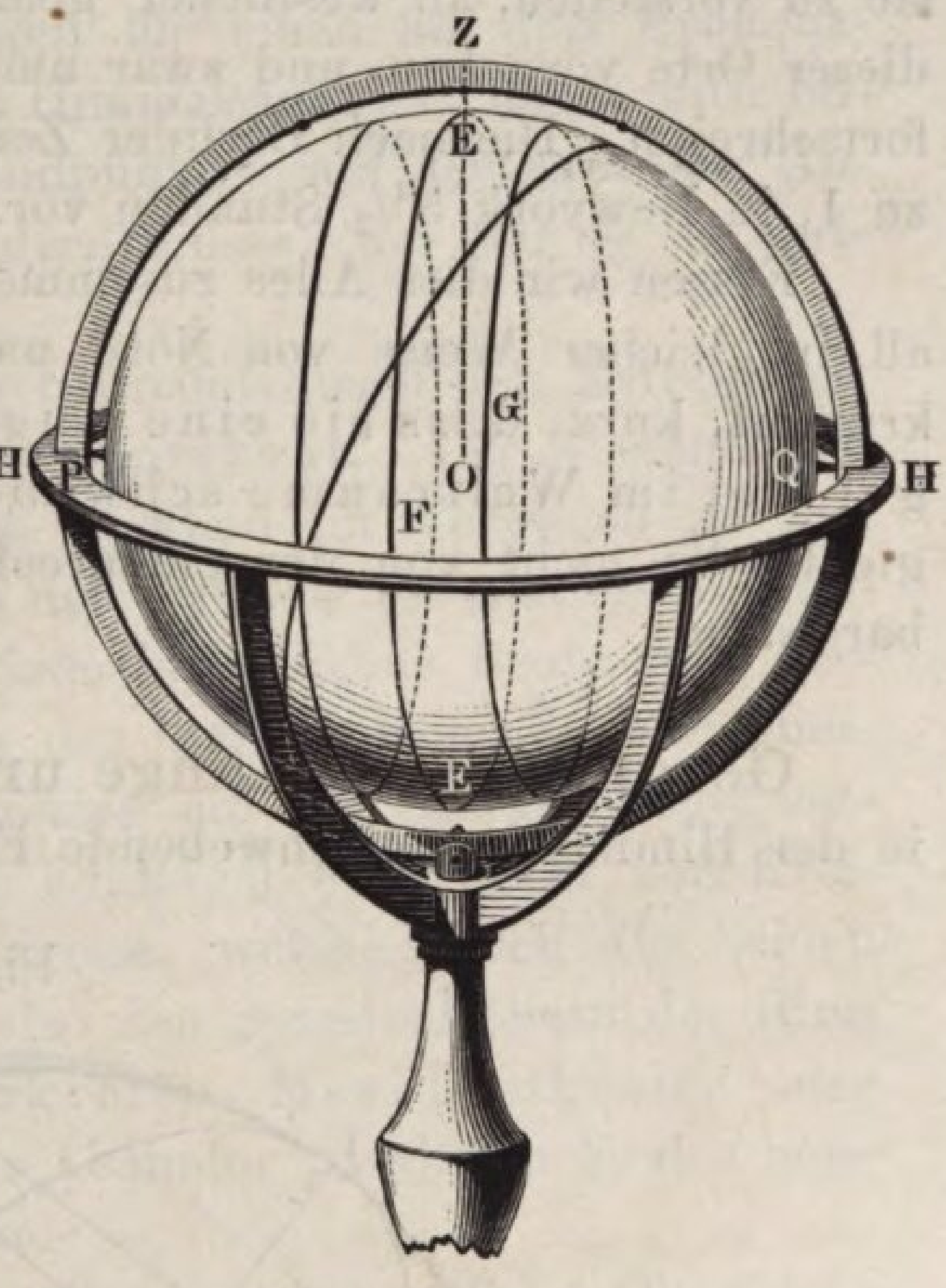


Fig. 42.



in Quito der Fall ist. Nach Norden hin sieht man den Nordpol, nach Süden hin den Südpol des Himmels im Horizont. Alle Parallelkreise des Himmels stehen rechtwinklig auf der Ebene des Horizontes. Kein Stern des Himmels bleibt beständig über, keiner beständig unter dem Horizont, für alle Sterne ist der Tagbogen dem Nachtbogen gleich.

Setzt man den Weg nach Süden hin immer noch weiter fort, so verschwindet der Nordpol des Himmels unter dem Horizont, der Südpol dagegen steigt höher und höher.

Aus diesen eben besprochenen Erscheinungen geht hervor, dass die Erde in der Richtung von Norden nach Süden hin gekrümmt sein muss, und zwar ziemlich gleichförmig; denn für je 342 000 Fuss, um welche man gerade nach Norden hin fortschreitet, erhebt sich der Polarstern ungefähr um 1^0 mehr über den Horizont.

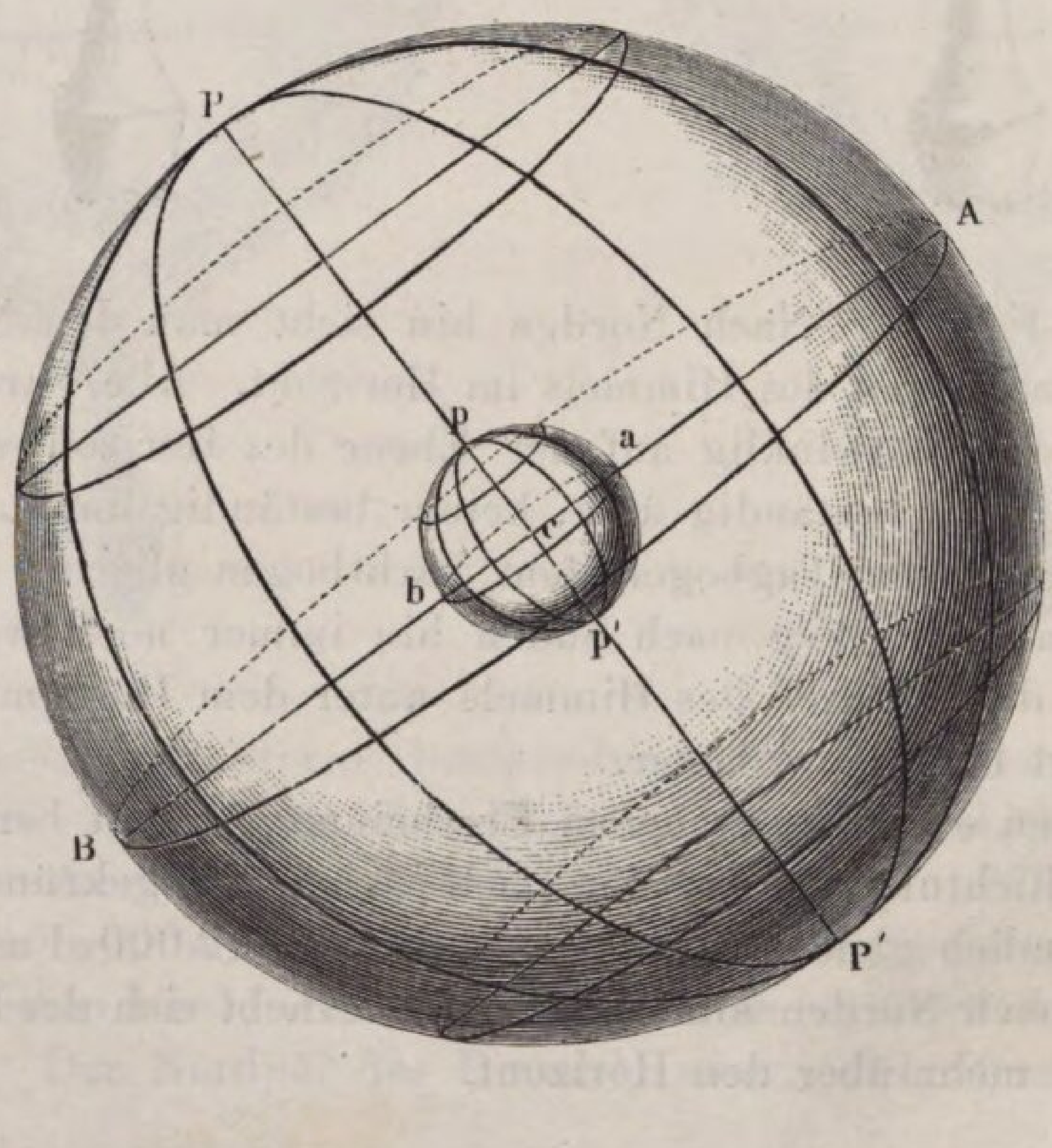
Ebenso ist aber auch die Erde in der Richtung von Ost nach West gekrümmt. Reist man gerade nach Westen hin, so ändert sich zwar der Anblick des gestirnten Himmels durchaus nicht; aber die Zeit des Auf- und Unterganges der Gestirne, die Zeit ihrer Culmination ist nicht dieselbe. In demselben Moment, in welchem die Sonne in London aufgeht, ist sie zu Berlin schon bald eine Stunde lang über dem Horizont; und die Zeit des Mittags von Quito fällt mit der Zeit der Mitternacht von Sumatra zusammen.

Von der Richtigkeit dieser Behauptung kann sich jeder Reisende mit Hülfe einer guten Uhr überzeugen. Nehmen wir an, die Uhr sei nach Berliner Zeit gerichtet, d. h. sie gehe so, dass sie für Berlin stets die richtige Zeit angiebt, so wird diese Uhr, wenn man dieselbe, ohne sie zu verstellen, an westlicher gelegene Orte bringt, stets vor der Uhr dieser Orte vorgehen, und zwar um so mehr, je weiter man nach Westen fortschreitet. Die nach Berliner Zeit gehende Uhr geht in London nahezu 1, in Newyork $5^1/_2$ Stunden vor.

Fassen wir dies Alles zusammen, so ergiebt sich, dass die Erde überall in gleicher Weise von Nord nach Süd und von Ost nach West gekrümmt, kurz, dass sie eine Kugel ist, und zwar muss diese Kugel frei im Weltraume schweben, weil es keine Stelle des Himmels giebt, die nicht von den entsprechenden Orten der Erde aus frei sichtbar wäre.

17 **Geographische Länge und Breite.** Fig. 43 stellt die mitten in der Himmelskugel schwebende Erdkugel dar, wobei jedoch zu beden-

Fig. 43.



ken ist, dass die Dimensionen der Erdkugel verschwindend klein sind im Vergleich zu denen der Himmelskugel, was man in der Zeichnung freilich nicht richtig darstellen kann. Die Weltaxe PP' geht mitten durch die Erdkugel hindurch und trifft ihre Oberfläche in zwei Punkten pp', welche die Pole der Erde sind; p ist der Nordpol, p' ist der Südpol der Erde.

Die Ebene des Himmelsäquators schneidet die Erde in einem Kreise abc, welcher der Aequator der Erde ist.

Denken wir uns an irgend eine Stelle der Erdoberfläche eine Berührungsebene gelegt, so ist dies der scheinbare Horizont, d. h. der Horizont, welcher dem auf der Erdoberfläche befindlichen Beobachter in der That die sichtbare Hälfte der Himmelskugel begränzt. Es ist klar, dass ein auf dem Nordpol der Erde stehender Beobachter den Nordpol des Himmels im Zenith hat, dass dagegen für einen auf dem Erdäquator stehenden Beobachter ein Punkt des Himmelsäquators das Zenith bildet, kurz, dass bei Veränderung des Standpunktes auf der Erde der Anblick des Himmels sich in der Weise ändern müsse, wie wir es im vorigen Paragraphen gesehen haben.

Eine parallel mit dem scheinbaren Horizont durch den Mittelpunkt der Erde gelegte Ebene ist der wahre Horizont. Der Abstand des wahren Horizontes vom scheinbaren ist so klein im Vergleich zu den Dimensionen des Himmelsgewölbes, dass der Anblick des gestirnten Himmels für den auf der Oberfläche der Erde befindlichen Beobachter derselbe ist, als ob er sich im Mittelpunkte des wahren Horizontes befände.

Den Stundenkreisen und Parallelkreisen auf der Himmelskugel entsprechend denkt man sich auch auf der Erdkugel ein System von Kreisen gezogen. — Diejenigen grössten Kreise, welche durch die beiden Pole p und p' der Erde gehen, welche also den Stundenkreisen der Himmelskugel entsprechen, werden Längenkreise, Meridiankreise oder nur Meridiane genannt. Die mit dem Aequator parallelen Kreise heissen Parallelkreise oder Breitekreise.

Mittelst dieser Kreise findet die Ortsbestimmung auf der Oberfläche der Erdkugel ganz in derselben Weise Statt, wie die Ortsbestimmung am Himmel, durch Declination und Rectascension. Was für die Himmelskugel die Declination ist, das ist die geographische Breite für die Erdkugel; die geographische Länge hat für die Erdkugel dieselbe Bedeutung wie die Rectascension für die Himmelskugel.

Die geographische Breite eines Ortes ist der auf seinem Meridian gemessene Bogen von dem Orte bis zum Erdäquator. So ist z. B. die geographische Breite von Freiburg 48^0, Freiburg ist also noch um 42 Breitegrade vom Nordpol der Erde entfernt, da der Bogen vom Pol bis zum Aequator 90^0 beträgt.

Die geographische Länge eines Ortes ist der auf dem Aequator gezählte Winkel oder Bogen, welcher zwischen dem Meridian des

Ortes und irgend einem bestimmten zum Ausgangspunkte der Zählung gewählten Meridian liegt.

Gewöhnlich zählt man die Länge von dem durch die Insel Ferro gelegten Meridian.

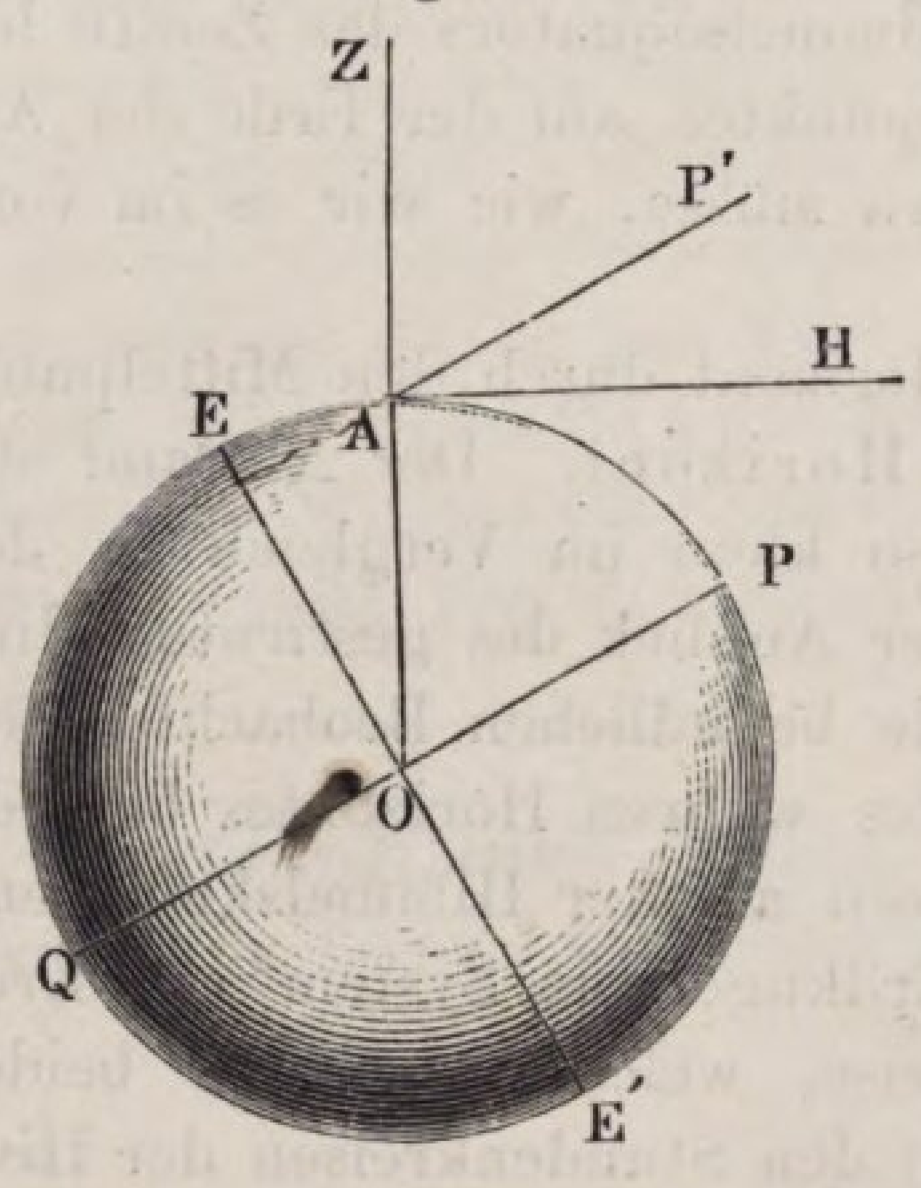
So ist denn die Lage von Freiburg vollkommen bestimmt, wenn man sagt, es liege in einer nördlichen Breite von 48^0 und seine geographische Länge sei (ungefähr) $25\frac{1}{2}^0$ östlich von Ferro.

Die Engländer nehmen den Meridian von Greenwich, die Franzosen den von Paris zum Ausgangspunkte für die Zählung der geographischen Länge.

18 Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes.

Fig. 44 stelle die Erdkugel dar. PQ sei die Erdaxe, EE' der zur Linie verkürzt erscheinende Erdäquator; es sei ferner A irgend ein Ort auf der Erdoberfläche, so ist der Bogen EA die geographische Breite desselben. Denken wir uns nun von A aus eine gerade Linie AP' parallel mit der Erdaxe gezogen, so trifft die Verlängerung dieser Linie gerade den Himmelspol (da ja die Dimensionen der Erde verschwindend klein sind gegen die des Himmelsraumes). Der Winkel aber, welchen AP' mit AH, der Ebene des Horizontes von A, macht, ist aber offenbar gleich dem Winkel EOA, oder mit anderen Worten: die geographische Breite eines Ortes ist seiner Polhöhe gleich.

Fig. 44.



Um die geographische Breite eines Ortes zu ermitteln, hat man also nur zu messen, um wie viel Grade der an diesem Orte sichtbare Himmelspol über der Ebene des Horizontes steht.

Da aber der Himmelspol nicht durch einen bestimmten Stern bezeichnet ist, so kann man die Polhöhe nicht durch eine einzige directe Messung finden; sie ergiebt sich aber sehr einfach aus der Beobachtung der oberen und unteren Culmination der Circumpolarsterne. Hat man die Höhe eines der Circumpolarsterne zur Zeit der oberen und dann wieder zur Zeit der unteren Culmination gemessen, so hat man aus diesen beiden Winkeln nur das Mittel zu nehmen, um die Polhöhe zu finden.

Man hat z. B. zu Freiburg gefunden:

Höhe des Polarsterns zur Zeit der unteren Culmination $46^0\ 32'$
" " " " " " oberen " 49 28,

so ergiebt sich daraus die Polhöhe von Freiburg gleich 48^0.

An Orten, wo die Localitäten oder auch die Einrichtung der Instrumente die Beobachtung der Circumpolarsterne nicht zulassen, kann

man auch aus der Höhe eines anderen Sternes zur Zeit seiner oberen Culmination auf die geographische Breite des Beobachtungsortes schliessen, da ja die Declination aller helleren Sterne wenigstens durch genaue Messungen auf den ersten Sternwarten ein- für allemal bekannt ist (Cap. I. §. 12). Beobachtet man nun die Höhe eines Sternes zur Zeit seiner Culmination, so hat man von derselben nur die Declination des Sternes abzuziehen (oder zu addiren, wenn die Declination eine südliche ist), um zu erfahren, welchen Winkel der Himmelsäquator mit der Ebene des Horizontes macht. Dieser Winkel ist aber gleich der Zenithdistanz des Himmelspols und ergänzt also die Polhöhe (also auch die geographische Breite) zu 90⁰.

Bezeichnen wir mit d die Declination, mit h die beobachtete Culminationshöhe eines Sternes, so macht also der Himmelsäquator mit dem Horizont des Beobachtungsortes einen Winkel

$$p = h \mp d,$$

wo das obere Zeichen bei nördlicher Declination zu setzen ist. Die geographische Breite b des Ortes ist aber $90^0 - p$, also

$$b = 90^0 - h \pm d.$$

Man hat z. B. zu Freiburg die Höhe des Procyon (α canis minoris), dessen nördliche Declination $5^0\ 38'$ ist, zur Zeit seiner Culmination gleich $47^0\ 38'$ gefunden, und daraus ergiebt sich 42^0 als Werth des Winkels, welchen der Himmelsäquator mit dem Horizont von Freiburg macht, die geographische Breite von Freiburg ist also 48^0.

Bestimmung der geographischen Länge. Nach der obigen Definition wird die geographische Länge eines Ortes durch den Winkel gemessen, welchen der Meridian desselben mit demjenigen Meridian macht, den man zum Nullpunkte der geographischen Länge gewählt hat. 19

Um den Unterschied der geographischen Länge zweier Orte zu ermitteln, muss man bestimmen, um wie viel Stunden die Culmination eines und desselben Sternes an dem einen Orte später eintritt als am anderen. Diese in Stunden ausgedrückte Zeitdifferenz hat man nur mit 15 zu multipliciren, um den gesuchten Längenunterschied in Graden ausgedrückt zu erhalten.

Diese Zeitdifferenz erhält man aber durch die Vergleichung zweier Uhren, von denen die eine nach der Zeit des ersten, die andere nach der Zeit des zweiten Ortes regulirt ist. Eine solche Vergleichung kann man aber nach verschiedenen Methoden ausführen.

Sind die beiden Orte, deren Längenunterschied man ermitteln will, nicht gar zu weit von einander entfernt, so wählt man zwischen beiden Stationen einen Punkt, etwa eine Bergspitze, einen Thurm u. s. w., welcher von beiden Orten aus zugleich gesehen werden kann, auf welchem dann ein vorher verabredetes Signal, etwa durch Anzünden einer kleinen Menge Pulver, gegeben wird. Die Beobachter an den beiden Stationen, welche den Gang ihrer Uhren nach der Culmination eines und desselben

Sternes regulirt haben, notiren die Zeit, in welcher sie das Signal wahrnehmen, und aus der Vergleichung der notirten Zeitmomente ergiebt sich dann der verlangte Zeit- und Längenunterschied.

Wenn die beiden Orte durch einen elektrischen Telegraphen mit einander verbunden sind, so kann man sich desselben zur Bestimmung der Längenunterschiede bedienen, da die Geschwindigkeit des galvanischen Stromes so gross ist, dass man die Fortpflanzung des Signals von der einen Station zur anderen als momentan betrachten darf. Der Beobachter der einen Station notirt sich die Uhrzeit, in welcher er das elektrische Signal absendet, der andere beobachtet die Uhrzeit, in welcher er es wahrnimmt. Die Differenz dieser Uhrzeiten giebt den Längenunterschied. Dies Verfahren giebt sehr genaue Resultate und ist mit Erfolg in den vereinigten Staaten von Nordamerika in Anwendung gebracht worden.

Nach dieser Methode wurden auch am 13. und am 29. August 1852 Morgens zwischen 6 und 7 Uhr Versuche zur Bestimmung des Längenunterschiedes von Frankfurt a. M. und Berlin gemacht. Das Signal bestand in einem einfachen Drucke auf den Schlüssel des Telegraphen und wurde an dem anderen Ende der Telegraphenlinie als ein einfaches Knacken von nicht messbarer Dauer gehört. Bezeichnen wir mit t_b die Berliner Zeit für den Moment eines solchen Signals, mit t_f die gleichzeitige Frankfurter Zeit, so ergab sich für den fraglichen Längenunterschied beider Orte im Durchschnitt aus allen zu Berlin gegebenen Signalen (Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. für 1852 und 1853):

$$D = t_b - t_f = 18' \, 51{,}89'',$$

und das Mittel aus allen Frankfurter Signalen

$$D' = t_b - t_f = 18' \, 51{,}77''.$$

Wenn eine messbare Zeit c zwischen der Abgabe und der Ankunft eines Signals verstriche, so hätte man, wenn sich t_b und t_f auf die Momente der Zeichengebung beziehen, die Differenz der Uhrzeiten des Abgangs und der Ankunft für die Berliner Signale

$$D = t_b - (t_f + c)$$

und für die Frankfurter Signale

$$D' = (t_b + c) - t_f.$$

Es müsste also die Differenz D' für die Frankfurter Signale grösser sein als die entsprechende Differenz D für die Berliner Signale. Da dies nun nicht der Fall ist, so liefern diese Versuche zugleich den Beweis, dass die Zeit, in welcher sich der galvanische Strom von Berlin nach Frankfurt fortpflanzt, in der That verschwindend klein ist.

Solche Signale sind aber nicht mehr anwendbar, wenn die beiden Orte zu weit von einander entfernt oder durch Meere getrennt sind. Statt der irdischen Signale muss man alsdann himmlische anwenden, d. h. man beobachtet den Moment, in welchem gewisse Erscheinungen am Himmel, die wir später noch besprechen werden, wie Sternbedeckungen, Verfinsterung von Jupiterstrabanten u. s. w. eintreten. Den Zeitpunkt, in wel-

chem diese Erscheinungen an irgend einer der Hauptsternwarten eintreten müssen, erfährt man aus den astronomischen Jahrbüchern, welche von den Astronomen der wichtigsten Observatorien herausgegeben werden und welche die für einige Jahre schon vorausberechneten Momente dieser Erscheinungen enthalten.

So enthält z. B. das Berliner astronomische Jahrbuch für 1853 die Angabe, dass am 20. Mai dieses Jahres eine Bedeckung des Sternes $\varkappa$ virginis durch den Mond stattfinde, und zwar müsste der Stern für Berlin um 13^h 16,4′ am östlichen Mondrande eintreten. Lorey beobachtete den Eintritt dieses Sternes zu Frankfurt a. M. an demselben Tage um 12^h 56,2′; demnach betrüge der Längenunterschied zwischen Berlin und Frankfurt 20′ 12″. An diesem Resultate sind aber noch Correctionen anzubringen, welche hier nicht besprochen werden können.

Am einfachsten ergeben sich die Längendifferenzen durch Anwendung guter, gleichförmig gehender Chronometer, welche man von dem einen Orte an den anderen mit hinnimmt. Diese Methode wird vorzugsweise zur Längenbestimmung auf der See angewendet. Diese Chronometer werden für den Meridian irgend einer bedeutenden Sternwarte, z. B. den von Greenwich, regulirt, sie geben also für jeden Augenblick die Greenwicher Zeit an; man hat also nur die Zeit des Ortes, an welchem man sich befindet, mit der des Chronometers zu vergleichen, um daraus die Längendifferenz abzuleiten.

Eine nach dieser Methode gemachte Längenbestimmung wird natürlich um so genauer ausfallen, je regelmässiger und genauer der Gang der Uhr ist. Wo es auf sehr grosse Genauigkeit ankommt, wendet man gleichzeitig mehrere Chronometer an und nimmt das Mittel aus allen einzelnen Bestimmungen; so wurde im Jahre 1824 die Länge von Altona, Helgoland und Bremen in Beziehung auf die Sternwarte von Greenwich durch 35 Chronometer, mit welchen man sechsmal die Reise über das Meer machte, und im Jahre 1843 wurde in gleicher Weise der Längenunterschied der Sternwarte von Pulkawa bei Petersburg und der von Greenwich mit Hülfe von 68 vorzüglichen Chronometern bestimmt.

Wie man die Zeit des Beobachtungsortes selbst ermittelt, werden wir später sehen.

Die umstehende Tabelle enthält die Länge und Breite einiger Hauptsternwarten.

Namen des Ortes.	Geographische Breite. + nördlich. — südlich.	Länge von Berlin in Zeit. + westlich. — östlich.	Oestliche Länge von Ferro in Bogen.
Berlin	+ 52° 30′ 16,7″	+ 0h 0′ 0″	31° 3′ 30,0″
Bonn	+ 50 44 9,1	+ 0 25 8,5	24 46 22,5
Greenwich . . .	+ 51 28 38,2	+ 0 53 35,5	17 39 37,5
Kasan	+ 55 47 23,0	— 2 22 57,0	66 47 45,0
Königsberg . . .	+ 54 42 50,4	— 0 28 25,0	38 9 45,0
Madras	+ 13 4 9,2	— 4 27 28,3	97 55 34,5
München	+ 48 8 45,0	+ 0 7 9,0	29 16 15,0
Paramatta . . .	— 33 48 49,8	— 9 10 30,8	168 41 12,0
Pulkawa	+ 59 46 18,6	— 1 7 43,0	47 59 15,0
Vorgeb. d. g. Hoff.	— 33 56 3,0	— 0 20 19,5	36 8 22,5
Washington . . .	+ 38 53 32,8	+ 6 1 40,1	300 38 28,5
Wien	+ 48 12 35,5	— 0 11 56,4	34 2 36,0

20 **Abplattung der Erde.** Wenn die Erde eine vollständige Kugel wäre, so müsste die Entfernung zweier auf demselben Meridian liegender Punkte, von denen der eine genau 1° nördlicher liegt als der andere, für alle Theile des Meridians genau dieselbe sein; der Bogen vom Aequator bis zu 1° nördlicher Breite müsste also genau so lang sein, wie der Bogen vom 89sten Breitegrade bis zum Pol.

Dies ist nun in der That nicht der Fall. Genaue Gradmessungen, welche in verschiedenen Gegenden der Erde vorgenommen wurden, haben gezeigt, dass die Länge eines Breitegrades mit der Entfernung vom Aequator zunimmt, wie man aus folgender Tabelle ersieht.

Namen des Landes.	Mittlere Breite.	Länge eines Breitegrades.
Peru	1° 31′	56728,5 Toisen.
Indien	12 32	56795,9 „
Frankreich . . .	46 8	57024,6 „
England	52 2	57066,1 „
Lappland	66 20	57438,0 „

Die Meridiane sind also in der Nähe des Aequators stärker gekrümmt als an den Polen, der Aequatorealdurchmesser der Erde ist also grösser als der Polardurchmesser, oder mit anderen Worten, die Erde ist an den Polen abgeplattet.

Das Wesentlichste der geodätischen Operationen, durch welche dergleichen Gradmessungen ausgeführt werden, soll im nächsten Paragraphen besprochen werden.

Newton hatte die Abplattung der Erde aus theoretischen Gründen abgeleitet; allein es fehlte an genauen Gradmessungen, welche Newton's Behauptungen hätten bestätigen können, bis die französische Akademie der Wissenschaften gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts eine wissenschaftliche Expedition nach Peru und eine andere nach Lappland veranlasste, um daselbst genaue Gradmessungen anzustellen. Die Gradmessung in Peru wurde von Bouguer und Condamine, die in Lappland wurde von Maupertuis, Clairaut und Outhier ausgeführt. Die Resultate dieser Messungen setzten die Abplattung der Erde ausser Zweifel.

Als gegen Ende des vorigen Jahrhunderts der Nationalconvent in Frankreich ein neues Maass- und Gewichtssystem einführen wollte, entschied man sich dahin, dass die neue Längeneinheit in einem einfachen Verhältnisse zur Länge eines Erdmeridians stehen sollte, und verordnete deshalb, dass eine neue möglichst genaue Gradmessung ausgeführt werden sollte, mit welcher Delambre und Mechain beauftragt wurden. Sie führten die Messung des Meridianbogens von Dünkirchen bis Barcelona aus. Später ist auf demselben Meridian noch der Bogen von Barcelona bis Formentera (durch Biot und Arago) und von Dünkirchen bis Greenwich gemessen worden. Auch diese Messungen haben gezeigt, dass in der That die Länge eines Breitegrades nach Norden hin zunimmt. Zwischen Formentera und Montjouy ist die Länge eines Breitegrades 56955,4 Toisen, zwischen Dünkirchen und Greenwich ist sie 57097,6 Toisen.

Nachdem Delambre und Mechain ihre Messung beendigt hatten, wurde eine Commission von Gelehrten ernannt, um auf dieselbe das neue Maasssystem zu gründen. Die Commission combinirte diese in Frankreich ausgeführte Gradmessung mit den früher in Peru und Lappland erhaltenen Resultaten und folgerte daraus, dass der Erdmeridian eine Ellipse sei, deren Abplattung $^1/_{292}$ betrüge und deren vierter Theil (der Bogen vom Aequator bis zum Pol) 5 130 074 Toisen lang sei. Der zehnmillionste Theil des Erdmeridianquadranten wurde als Einheit des Längenmaasses angenommen und Meter genannt.

Das Meter wurde also zu 0,5130074 Toisen oder zu 3′ 11,296 Pariser Linien festgesetzt.

Seitdem hat man durch Discussion der älteren und neueren Gradmessungen, welche in verschiedenen Gegenden der Erde ausgeführt worden waren, gefunden, dass die Abplattung der Erde etwas kleiner sei, als die

französischen Gelehrten ermittelt hatten, dass sie $^1/_{299}$ betrage. Diese Modification im Werthe der Abplattung zieht eine entsprechende Aenderung in der Länge des Meridianquadranten nach sich, welcher in der That nicht 10 Millionen Meter, sondern 10 000 856 Meter lang ist.

Die halbe grosse Axe der Meridianellipse, also der Radius des Aequators, hat den erwähnten Messungen zufolge eine Länge von 6 377 398 Metern, die halbe kleine Axe dieser Ellipse aber, also die halbe Entfernung der beiden Erdpole ist 6 356 080 Meter lang.

Da 15 geographische oder deutsche Meilen auf einen Grad des Aequators gehen, so ist also der Umfang des Aequators 5400, der Aequatorealhalbmesser aber 860 deutsche Meilen. Der Polarhalbmesser ist ungefähr um 3 deutsche Meilen kleiner, als der Radius des Aequators.

Um sich eine deutliche Vorstellung von der Abplattung der Erde zu machen, denke man sich ein Umdrehungsellipsoid, dessen Aequatorealdurchmesser 1 Meter beträgt; es würde dann der Polardurchmesser, also die Umdrehungsaxe, ungefähr um 3 Millimeter kürzer sein müssen, wenn dieser Körper dem Erdellipsoid ähnlich sein sollte. Man begreift wohl, dass eine solche Abplattung dem blossen Auge ganz unmerklich ist und dass genaue Messungen nöthig sind, um sie nachzuweisen.

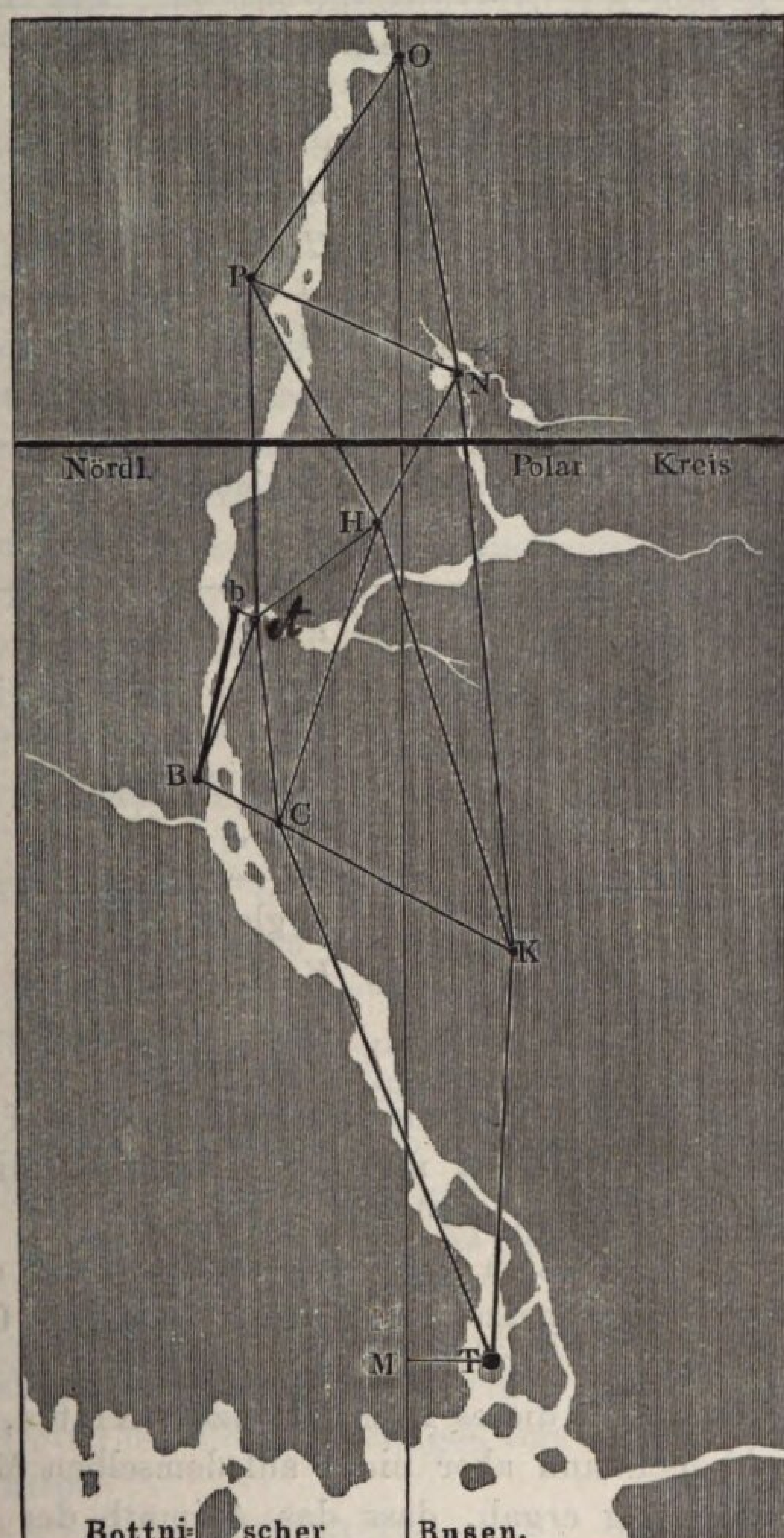
Bedenkt man, dass der höchste Gipfel des Dhawalagiri nur 7820 Meter über der Meeresfläche liegt und dass der Chimborazo nur 6530 Meter hoch ist, so sieht man leicht, dass die Erhebungen der mächtigsten Gebirge kaum in Betracht kommen können im Vergleich zu den Dimensionen der Erde. Auf einem Erdglobus von 1 Meter Durchmesser dürften die Gebirgszüge des Himalaya in Asien und der Andes von Südamerika noch nicht die Höhe von 1 Millimeter erreichen, wenn das richtige Grössenverhältniss eingehalten werden sollte.

21 **Gradmessungen.** Um die Dimensionen der Erdkugel zu erfahren, muss man die Länge eines Breitegrades ermitteln, d. h. man muss bestimmen, wie gross der nach irgend einem Längenmaass gemessene Abstand zweier Orte desselben Meridians ist, von welchem der eine um 1 Grad nördlicher liegt als der andere.

Eine solche Länge lässt sich nun nicht unmittelbar messen, und deshalb muss hier dasselbe Verfahren befolgt werden, welches überhaupt zur Vermessung grösserer Länderstrecken in Anwendung gebracht wird. Man denkt sich nämlich eine Reihe ausgezeichneter Punkte (Bergspitzen, Thürme u. s. w.) durch Visirlinien verbunden und so das ganze Land mit einem Dreiecksnetz bedeckt. Wenn man nun von diesem ganzen Dreiecksnetz nur die Länge einer einzigen Linie, der Basis, ausserdem aber die sämmtlichen Winkel der einzelnen Dreiecke gemessen hat, so kann man die Länge sämmtlicher Dreieckseiten, also auch den Längenabstand irgend zweier Punkte dieses Dreiecksnetzes berechnen.

So ist z. B. Fig. 45 das Bild eines von Maupertuis in Lappland gemessenen Dreiecksnetzes, dessen nördlichster Punkt O die Spitze eines Berges Kittis, der südlichste T aber der Kirchthurm von Tornea am nördlichen Ende des Bottnischen Meerbusens ist.

Fig. 45.



Die Basis bB dieses Dreiecksnetzes wurde auf dem Eise des Torneaflusses gemessen und gleich 7407 Toisen gefunden. An diese Basis lehnte sich eine Reihe von Dreiecken an, in welchen sämmtliche Winkel, aber keine weitere Seite mehr gemessen wurde (in unserer Figur fehlt der Buchstabe A, welcher den dritten Punkt des kleinen Dreiecks BbA bezeichnen soll). Man fand

im Dreieck	den Winkel
BbA	bei *B* gleich 9⁰ 30′ „ *b* „ 77⁰ 32′
ABC	bei *B* gleich 102⁰ 42′ „ *A* „ 22⁰ 37′
AHC	bei *A* gleich 112⁰ 21′ „ *C* „ 30⁰ 57′
AHP	bei *H* gleich 94⁰ 54′ „ *A* „ 53⁰ 46′
PNH	bei *P* gleich 37⁰ 22′ „ *H* „ 49⁰ 13′
PNO	bei *P* gleich 87⁰ 52′ „ *N* „ 51⁰ 53′
HCK	bei *C* gleich 100⁰ 10′ „ *H* „ 36⁰ 5′
KTC	bei *C* gleich 37⁰ 9′ „ *K* „ 118⁰ 28′

Die gemessenen Winkel sind hier absichtlich nur auf Minuten genau angegeben, weil es sich hier ja nur darum handelt, die Methode der Gradmessungen anschaulich zu machen.

Nach den gegebenen Daten kann man nun zunächst die Länge einer jeden Seite dieses Dreiecksnetzes, also die Länge von OP, ON, NK, PH u. s. w. berechnen.

Der nördlichste Punkt dieses Dreiecksnetzes, Kittis, und der südlichste, Tornea, liegen nun aber nicht auf demselben Meridian. Eine in O angestellte Messung ergab, dass das Azimuth der Visirlinie OP (Kittis-Pullingi) 28⁰ 52′ beträgt oder, mit anderen Worten, dass die Visirlinie OP einen Winkel von 28⁰ 52′ mit dem Meridian der Spitze des Berges Kittis macht. Danach ergiebt sich die Lage des Meridians von Kittis wie sie in unserer Figur gezeichnet ist; Tornea liegt also östlich vom Meridian von Kittis.

Denken wir uns von dem Kirchthurme von Tornea ein Perpendikel TM auf den Meridian von Kittis gefällt, so hat der Punkt M gleiche geographische Breite mit dem Kirchthum von Tornea.

Nachdem einmal die Lage des Meridians von Kittis gegen die Linie OP festgestellt ist, lässt sich nun auch der Winkel bestimmen, welchen jede Seite des Dreiecksnetzes mit diesem Meridian macht. Hat man aber die Länge einer solchen Dreiecksseite bestimmt, so kann man auch die Länge ihrer Projection auf den Meridian von Kittis berechnen.

Denken wir uns nun die Linien ON, NK und KT auf den Meridian von O projicirt, so ist die Summe dieser drei Projectionen gleich OM.

Oder es ist OM gleich der Summe der Projectionen von OP, PH, HC und CT.

Oder es ist OM gleich der Summe der Projectionen von OP, PA, AC und CT u. s. w.

Es lässt sich also die Länge OM aus verschiedenen Seitencombinationen berechnen, welche nahezu dasselbe Resultat geben. Als Mittel aus den zuverlässigsten Combinationen ergab sich

$$OM = 54\,942 \text{ Toisen.}$$

Nachdem nun die Länge des Meridianbogens OM ermittelt war, blieb noch die Differenz der geographischen Breite von Kittis und Tornea zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurde zuerst auf Kittis und nachher zu Tornea die Zenithdistanz des Sternes δ draconis zur Zeit seines Durchgangs durch den Meridian gemessen. Die Differenz der beiden Zenithdistanzen ergab sich gleich

$$0^0\ 57'\ 26{,}9'',$$

demnach wäre also Kittis um 57′ 26,9″ nördlicher als Tornea. Aus der Beobachtung der Zenithdistanzen des Polarsterns aber ergab sich für die Breitendifferenz zwischen Kittis und Tornea der Werth 57′ 30,35″. Als Mittel ergiebt sich also für die Breitendifferenz der beiden Orte der Werth

$$57'\ 28{,}6''.$$

Nach diesen Daten lässt sich nun die Länge eines Breitegrades für Lappland leicht bestimmen, denn man hat

$$57'\ 28{,}6'' : 1^0 = 54\,942^t : x$$

oder

$$3448{,}6 : 3600 = 54\,942 : x$$

aus welcher Gleichung sich für x der Werth 57 438 Toisen ergiebt. In Lappland beträgt also nach den Messungen von Maupertuis die Länge eines Breitegrades

57 438 Toisen.

Axendrehung der Erde. Im vorigen Capitel haben wir die tägliche Bewegung der Himmelskugel sammt allen Gestirnen kennen gelernt, und es ist nun die Frage, wie diese Erscheinung zu erklären sei. Auf den ersten Anblick scheint es am einfachsten, dem unmittelbaren Eindrucke sich hingebend, diese scheinbare Bewegung für eine wirkliche zu nehmen, d. h. also anzunehmen, dass die Erde feststehe und dass sich das ganze Himmelsgewölbe sammt allen Gestirnen in je 24 Stunden 22

wirklich um die Weltaxe, und zwar in der Richtung von Ost nach West umdrehe.

Diese Ansicht war im Alterthume und durch das ganze Mittelalter hindurch wirklich die herrschende. In dem Maasse aber, als sich die astronomischen Kenntnisse erweiterten, wurde die Hypothese einer wirklichen täglichen Umdrehung der Himmelskugel mehr und mehr unwahrscheinlich und musste endlich der Lehre von der Axendrehung der Erde weichen.

In der That lassen sich alle Erscheinungen der täglichen Bewegung der Gestirne auch durch die Hypothese vollkommen erklären, dass sich die Erde in 24 Stunden in der Richtung von West nach Ost, also der scheinbaren Bewegung des gestirnten Himmels entgegen, um ihre Axe dreht.

Untersuchen wir nun, welche Gründe gegen die wirkliche Rotation des Himmels und für die Axendrehung der Erde sprechen.

Die Dimensionen der Erde sind verschwindend klein gegen die Entfernung der Gestirne von uns; wenn sie also wirklich in 24 Stunden alle um die Erde herumlaufen sollten, so müsste die Geschwindigkeit dieser Bewegung eine ganz enorme sein.

Eine so grosse Geschwindigkeit ist an und für sich wenig wahrscheinlich, die Unwahrscheinlichkeit wurde aber noch auffallender, nachdem man zu der Ueberzeugung gekommen war, dass es keineswegs ein festes Himmelsgewölbe gebe, an welchem alle Gestirne gleichsam befestigt sind, dass keineswegs alle Sterne gleich weit von uns entfernt, dass wenigstens der Mond, die Sonne und die Planeten uns weit näher sind als die Fixsterne; denn nun hätte man, um die Erscheinungen der täglichen Bewegung ohne die Axendrehung der Erde zu erklären, annehmen müssen, dass die Gestirne in demselben Maasse schneller in ihren täglichen Bahnen fortlaufen, in welchen sie weiter entfernt sind.

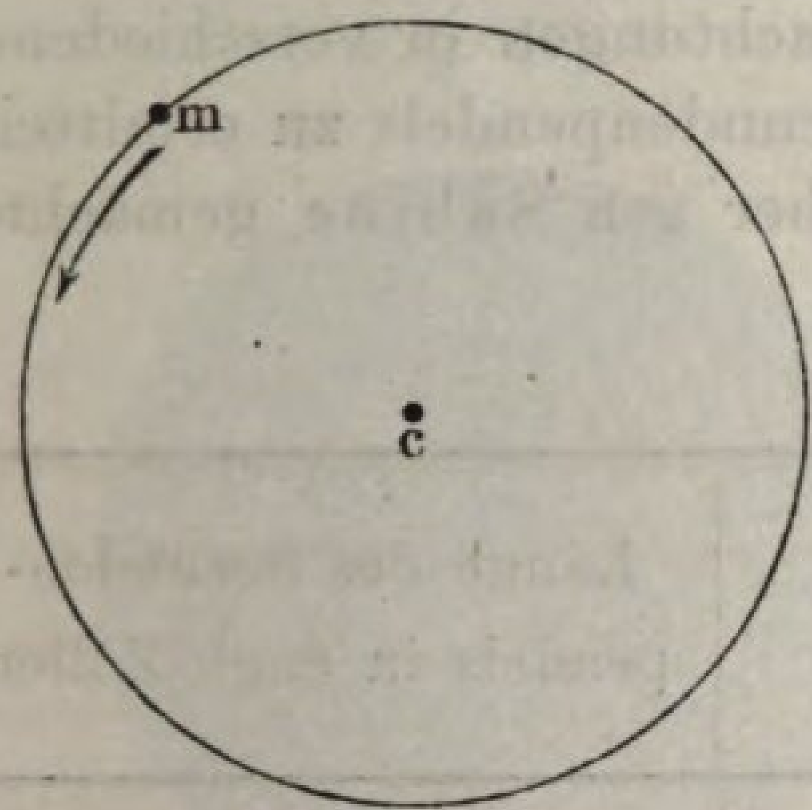
Die Unwahrscheinlichkeit einer solchen Annahme stieg bis zur Absurdität, nachdem man zu richtigen Vorstellungen über die Grösse und Entfernung der Gestirne gekommen war. Das Volumen der Sonne ist fast $1^1/_2$ Millionen Mal grösser, als das der Erde, und eine solche Masse sollte in 24 Stunden einen Kreis durchlaufen, dessen Halbmesser 20 Millionen Meilen ist, während die winzige Erde sich nicht einmal um ihre Axe dreht!?

Selbst wenn wir der Fixsterne, welche noch unendlich weiter entfernt sind als die Sonne, gar nicht gedenken, müssten solche Betrachtungen allein schon genügen, die Hypothese von einer wirklichen täglichen Bewegung der Gestirne zu beseitigen, während sich für die Axendrehung der Erde noch weitere Beweise beibringen lassen, die wir sogleich näher betrachten wollen.

Wenn sich die Erde wirklich um ihre Axe dreht, so muss sich die Schwungkraft auf ihrer Oberfläche geltend machen, und zwar muss sie um so bedeutender werden, je mehr man sich dem Aequator nähert.

Ein Körper *m*, welcher den Punkt *c* umkreist (Fig. 46), äussert fortwährend sein Streben, sich von diesem Mittelpunkte zu entfernen, und zwar ist der Weg *p*, um welchen sich *m* in einer Secunde von *c* entfernen würde, wenn andere Kräfte es nicht hinderten und ihn in der Kreisbahn zurückhielten, gleich $\frac{2\pi^2 r}{t^2}$ (Lehrb. 7. Aufl., I. Bd., S. 263), wenn *r* den Halbmesser der Kreisbahn, *t* die Umlaufszeit in Secunden und π das Peripherieverhältniss 3,14 bezeichnet. Da $2\pi r$ gleich ist dem Umfang des Kreises, den wir mit *u* bezeichnen wollen, so ist auch

Fig. 46.



$$p = \frac{3,14 \, . \, u}{t^2}.$$

Der Umfang *u* des Kreises, welchen ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper bei jeder vollen Umdrehung der Erde um ihre Axe zurückzulegen hat, ist nahezu gleich 40 000 000 Meter, die Umlaufszeit $t = 24$ Stunden $= 86\,400$ Secunden, und also

$$p = \frac{3,14 \, . \, 40\,000\,000}{86\,400^2} = 0,017 \text{ Meter,}$$

d. h. wenn sich die Erde in 24 Stunden wirklich um ihre Axe dreht, so muss die dadurch entstehende Schwungkraft so gross sein, dass ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper sich in einer Secunde um 0,017 Meter von dem Erdmittelpunkte entfernen würde, wenn die Schwere es nicht verhinderte.

In Folge der Axendrehung der Erde muss demnach der Weg, welchen ein frei fallender Körper in der ersten Fallsecunde durchläuft, am Aequator um 0,017 Meter kleiner sein als an den Polen.

Der Fallraum der ersten Secunde in der Nähe der Pole beträgt 4,909 Meter; ist derselbe nun am Aequator in der That um 0,017 Meter kleiner, so wäre demnach die Kraft, mit welcher ein Körper gegen die Erdoberfläche niedergezogen wird, in Folge der Axendrehung am Aequator um $^1/_{292}$ kleiner als an den Polen.

Eine solche Verminderung der Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin findet aber in der That Statt. Beim freien Fall der Körper sie nachzuweisen, würde freilich schwer halten; wir besitzen aber im Pendel ein viel empfindlicheres Mittel, die Intensität der Schwere zu messen, und die Pendelversuche bestätigen diese Abnahme vollständig.

Im Jahre 1672 machte der französische Astronom Richer eine wissenschaftliche Reise nach Cayenne, welches nur 5^0 nördlich vom Aequator liegt. Als er hier seine Pendeluhr aufstellte, deren Gang zu Paris genau war regulirt worden, fand er, dass sie täglich $2^1/_2$ Minuten nachging; er musste das Pendel nahe um $^5/_4$ Linien verkürzen, um den rich-

tigen Gang wieder herzustellen. Es konnte dies um so weniger einer Störung der Uhr während der Reise zugeschrieben werden, als die Uhr, nach Paris zurückgebracht, nun wieder 148 Secunden täglich vorging, so dass das Pendel wieder auf seine ursprüngliche Länge gebracht werden musste.

Man stellte später die genauesten Beobachtungen in verschiedenen Gegenden der Erde an, um die Länge des Secundenpendels zu ermitteln. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe solcher von Sabine gemachter Bestimmungen.

Ort.	Breite.	Länge des Secundenpendels in engl. Zollen.
St. Thomas	0^0 24′ 41″	39,012
Ascension	7 55 48 S.	39,024
Jamaika	17 56 7 N.	39,035
New-York	40 42 43 N.	39,101
London	51 31 8 N.	39,139
Drontheim	63 25 54 N.	39,174
Spitzbergen	79 49 58 N.	39,215

Die Länge des Secundenpendels ist durch die Gleichung

$$L = l + m \,.\, (sin.\ \varphi)^2$$

gegeben, in welcher l die Länge des Secundenpendels auf dem Aequator, L aber die Länge desselben an einem Orte bezeichnet, dessen geographische Breite φ ist. Für Metermaass ist

$$l = 99{,}0950 \text{ Centimeter}$$

$$m = 0{,}51768$$

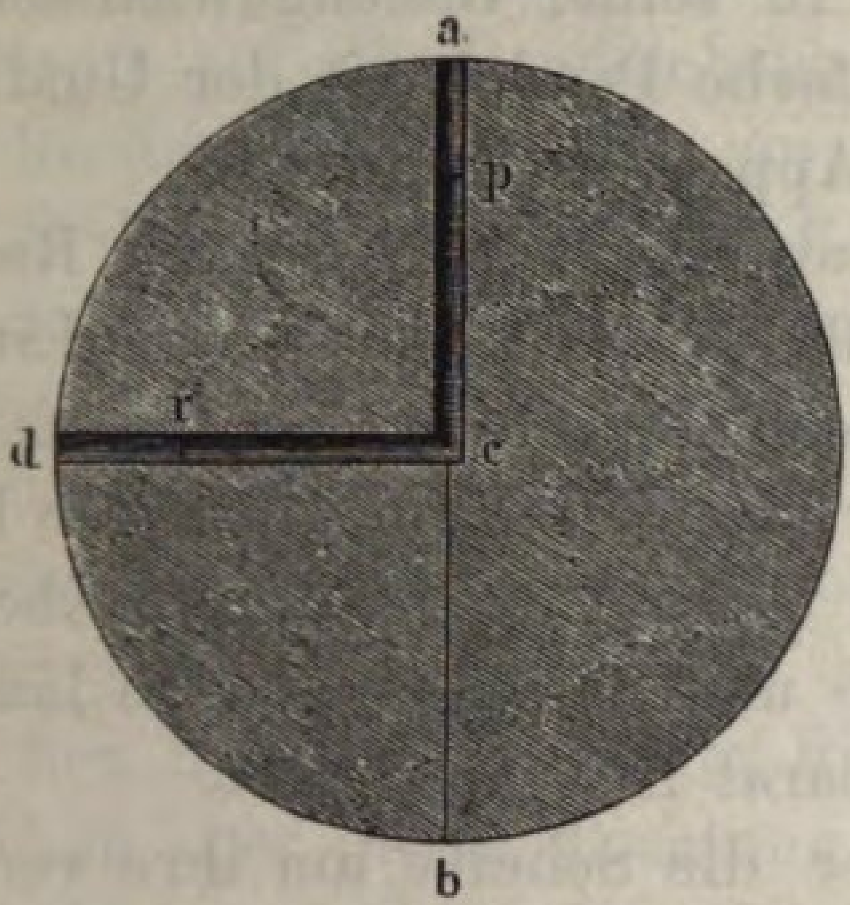
Da nun die beschleunigende Kraft der Schwere der Länge des Secundenpendels proportional ist, so ist durch diese Versuche erwiesen, dass in der That die Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin abnimmt, und diese Abnahme ist im Wesentlichen durch die von der Axendrehung der Erde herrührende Schwungkraft bedingt.

Die Abplattung der Erde selbst, welche wir im vorigen Paragraphen kennen lernten, ist eine Folge ihrer Axendrehung. Um dies darzuthun, wollen wir uns die Erde zunächst als eine feste Kugel denken, in welcher sich zwei Canäle ac und dc befinden, welche im Mittelpunkte der Erde zusammentreffen, und von denen der eine beim Nordpol a, der andere an einem Punkte d des Aequators mündet (Fig. 47). Diese beiden Canäle seien nun mit Wasser gefüllt, so werden beide Wassersäulen durch die Schwerkraft gegen den Mittelpunkt c hin angezogen, und zwar gleich stark, wenn keine Axendrehung stattfindet; in diesem Falle werden die Wassersäulen cd und ca gleich hoch sein müssen, wenn Gleichgewicht

stattfinden soll. In Folge der Rotation um die Axe *ab* wird aber der Zug der Schwere, den eine bei *d* befindliche Wasserschicht erleidet, wie wir gesehen haben, um $^1/_{292}$ vermindert.

Betrachten wir aber eine zweite in der Aequatorealröhre liegende

Fig. 47.



Wasserschicht bei *r*, welche nur $\frac{1}{n}$ so weit von *c* entfernt ist wie *d*, so ist hier freilich die Schwungkraft *n* mal geringer, allein auch die Kraft, mit welcher die Schicht *r* gegen *c* hin gezogen wird, ist, wie sich aus dem Gesetze der allgemeinen Massenanziehung ergiebt, *n* mal kleiner als das Gewicht einer gleichen Wasserschicht bei *d*; mithin ist auch hier bei *r* der Zug der Schwere gegen *c* durch die Schwungkraft um $^1/_{292}$ kleiner, als sie ohne die Rotation der Erde sein würde, sie ist um $^1/_{292}$ kleiner als die Zugkraft, welche auf die gleich weit von *c* abstehende Schicht *p* in der Polarröhre wirkt. Da nun dasselbe für alle entsprechenden Schichten der beiden Röhren gilt, so ist klar, dass in Folge der Axendrehung der Erde die Gesammtkraft, welche das Wasser in der Röhre *dc* gegen den Erdmittelpunkt treibt, um $^1/_{292}$ kleiner ist, als die entsprechende Kraft, welche auf das Wasser in der Röhre *ca* wirkt, wenn also Gleichgewicht stattfinden soll, so muss die Wassersäule in der Aequatorealröhre *cd* um $^1/_{292}$ länger sein als die Wassersäule in der Polarröhre *ca*.

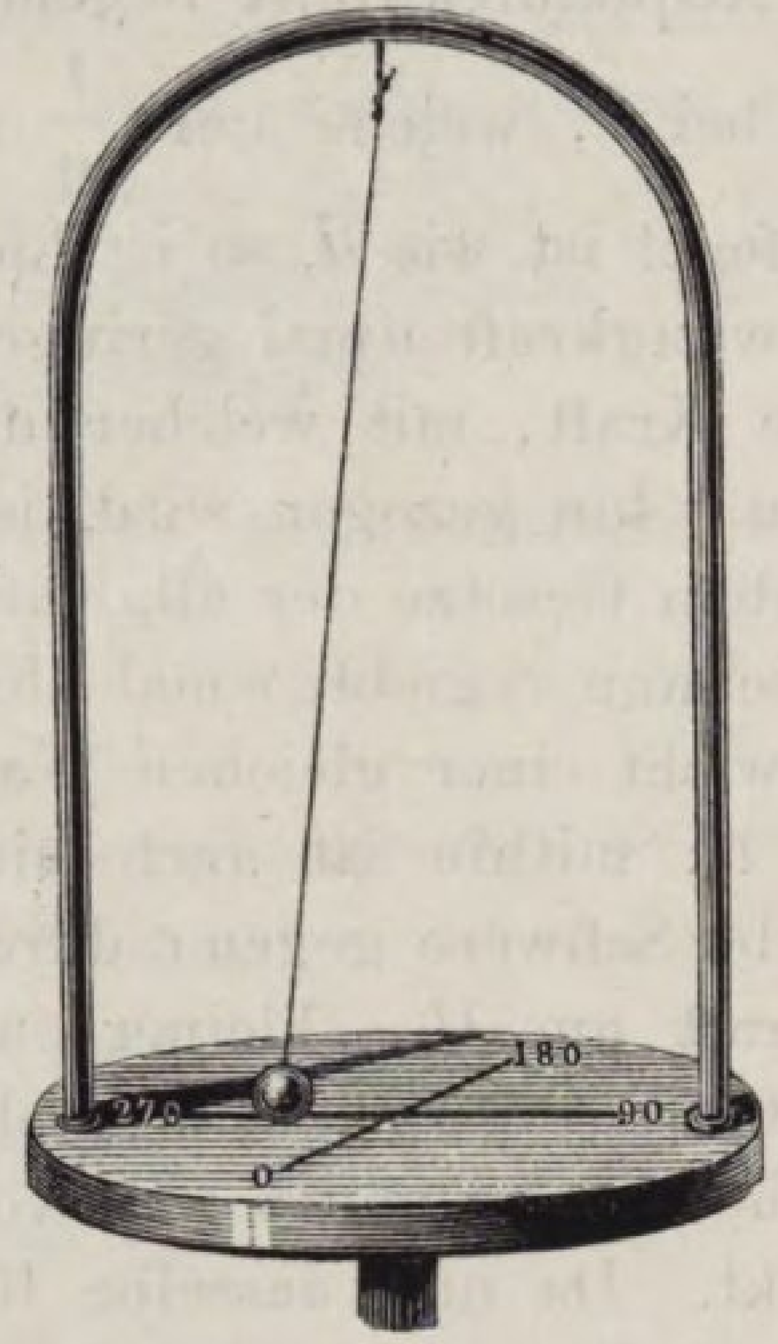
Wäre die ganze Erde eine flüssige, in 24 Stunden um ihre Axe rotirende Masse, so müsste offenbar zwischen dem Aequatoreal- und dem Polarhalbmesser dasselbe Grössenverhältniss bestehen, wie wir es eben für die Wassersäulen in den hypothetischen Röhren berechnet haben, oder, mit anderen Worten, die Erde müsste eine Polarabplattung von $^1/_{292}$ zeigen. Die auf diesem Wege berechnete Abplattung stimmt beinahe vollständig mit der durch Gradmessungen ermittelten überein, und diese Uebereinstimmung würde noch grösser sein, wenn man alle hier influirenden Umstände bei der Rechnung berücksichtigt hätte. Es unterliegt demnach wohl keinem Zweifel, dass die Abplattung der Erde eine Folge ihrer Axendrehung ist, und dass sie zu der Zeit, als sie sich noch im flüssigen Zustande befand, schon dieselbe Axendrehung hatte wie gegenwärtig.

Foucault's Pendelversuch. Ein einfaches Pendel, welches in einer bestimmten Ebene schwingt, wird seine Oscillationsebene unverändert beibehalten, wenn nicht äussere Kräfte es aus derselben verdrängen. 23

Es lässt sich dies sehr leicht mit Hülfe der Vorrichtung Fig. 48 (s. f. S.),

welche auf irgend eine verticale Umdrehungsaxe, etwa auf die einer Schwungmaschine aufgesteckt werden kann, bewerkstelligen. Auf einem horizontalen runden Brette ist ein Bügel von Metalldraht befestigt, von dessen Mitte ein Faden herabhängt, welcher eine Bleikugel trägt. In seiner Gleichgewichtslage fällt dieses einfache Pendel mit der Umdrehungsaxe des Apparates zusammen.

Fig. 48.



Bringt man das Pendel in der Richtung der mit 0 — 180 bezeichneten Linie aus seiner Gleichgewichtslage, so wird es, alsdann sich selbst überlassen, über der Linie 0 — 180, also rechtwinklig zur Ebene des Bügels hin- und herschwingen, so lange der ganze Apparat in Ruhe bleibt.

Wird aber die Scheibe um ihre verticale Axe langsam umgedreht, so wird die Schwingungsebene des Pendels dessenungeachtet unverändert bleiben, es wird also der Reihe nach ein Durchmesser der Scheibe nach dem anderen unter der Schwingungsebene des Pendels hindurchgehen. Nach einer Viertel-Umdrehung der Scheibe nimmt der Durchmesser 90 — 270 dieselbe Stellung ein, die ursprünglich 0 — 180 einnahm, in diesem Augenblicke wird also das Pendel in der Ebene des Bügels oscilliren und in Beziehung auf die Scheibe erscheint jetzt die Schwingungsebene des Pendels um 90^0 gedreht. Dauert die Drehung der Scheibe in gleicher Richtung fort, so wird allmälig der Quadrant von 90 — 180, dann der von 180 — 270 u. s. w. unter der Schwingungsebene des Pendels hingehen. In dem Maasse, in welchem die Scheibe von der Rechten zur Linken gedreht wird, in dem Maasse scheint sich die Schwingungsebene des Pendels in Beziehung auf die Scheibe in entgegengesetzter Richtung, also von der Linken zur Rechten zu drehen.

In demselben Verhältniss, wie dieses Pendel zur gedrehten Scheibe, würde sich offenbar ein gerade über dem einen Pol, etwa dem Nordpol der Erde, aufgehängtes Pendel zur Erdoberfläche verhalten. Nehmen wir an, das Pendel werde in der Ebene, welche in diesem Moment die Ebene der Meridiane 0 — 180 einnimmt, in Schwingung versetzt, so wird es in dieser Schwingungsebene verharren, während die Erde mit ihren Meridianen unter dem in unveränderter Lage bleibenden Schwingungsbogen des Pendels fortrotirt.

Bei der fortdauernden Rotation der Erde werden also der Reihe nach die verschiedenen Meridiane unter dem Schwingungsbogen des Pendels durchpassiren; in Beziehung auf die Erdoberfläche scheint sich also die Schwingungsebene des Pendels zu drehen und zwar in der Richtung von Ost nach West, weil die Erde in entgegengesetzter Richtung rotirt.

Ein Pendel, welches ursprünglich in der Richtung vom Nordpol nach Paris hin oscillirte, wird nach 2 Stunden gegen die Ostküste von Grönland, nach 4 Stunden gegen Neufoundland hin schwingen.

Ein an irgend einer Stelle des Erdäquators aufgehängtes Pendel kann von einer solchen scheinbaren Drehung der Schwingungsebene natürlich nichts zeigen, denn unter dem Aequator hat der Meridian in Bezug auf die Pendelebene gar keine drehende, sondern nur eine fortschreitende Bewegung, an welcher das Pendel Theil nimmt. Hat man auf dem Aequator ein Pendel etwa in der Ebene des Meridians in Schwingung versetzt, so wird die Schwingungsebene auch im Meridian bleiben.

An allen zwischen dem Pol und dem Aequator befindlichen Punkten wird nun die Schwingungsebene des Pendels in Folge der Axendrehung der Erde eine Drehung zeigen müssen, und zwar auf der nördlichen Hemisphäre in der Richtung Ost, Süd, West u. s. w., auf der südlichen aber in der Richtung Ost, Nord, West u. s. w. Die Grösse dieser Drehung wird aber in gleichen Zeiten um so bedeutender sein, je näher man sich dem einen Pole befindet.

Foucault war es, der zuerst auf den glücklichen Gedanken kam, dass die scheinbare Drehung der Schwingungsebene eines einfachen Pendels eine nothwendige Folge der Umdrehung der Erde sei, dass man also mittelst eines solchen Pendels, welches stundenlang fortschwingt, einen directen Beweis für die Axendrehung der Erde liefern kann.

Der Versuch bestätigte seine Erwartung vollständig. Das erste Pendel, mit welchem er experimentirte, war nur 2 Meter lang und hatte eine 5 Kilogramm schwere Kugel. Nachdem er an demselben die Erscheinung zuerst beobachtet hatte, wiederholte er den Versuch mit einem 11 Meter langen Pendel im Meridiansaale der Pariser Sternwarte und endlich mit einem Pendel von 67 Meter Länge im Pantheon zu Paris, welches zu Anfang des Jahres 1852 in hohem Grade das Interesse des grossen Publicums erregte.

Die unten mit einer Spitze versehene Kugel dieses Pendels wog 28 Kilogramm und hing an einem Stahldraht. Bei dieser Masse des Pendels sind seine Schwingungen nach 5 bis 6 Stunden noch hinreichend gross, um deutlich beobachtet zu werden, wenn die Kugel ursprünglich etwa um 10 Fuss aus ihrer Gleichgewichtslage entfernt worden war.

Um die Drehung der Schwingungsebene des Pendels gegen die Erdoberfläche beobachten und messen zu können, wird auf dem Boden eine kreisförmige getheilte Scheibe angebracht, deren Mittelpunkt m, Fig. 49 (a. f. S.), vertical unter dem Aufhängepunkt o des Pendels liegt. Nehmen wir an, dass die Pendelkugel zu Anfang ihrer Bewegung gerade über dem Durchmesser ab hinschwinge, so wird sie nach der Zeit t, $2t$, $3t$ u. s. w. in der Richtung eines Durchmessers schwingen, welcher einen Winkel von 10, 20, 30 u. s. w. Grad mit ab macht.

Es versteht sich von selbst, dass der Ort, an welchem das Fou-

cault'sche Pendel aufgehängt ist, vor Luftströmungen geschützt ist; ebenso muss dafür gesorgt sein, dass die Pendelkugel beim Beginn ihrer Oscillationen frei von jeder seitlichen Bewegung ist. Es wird dies auf

Fig. 49.

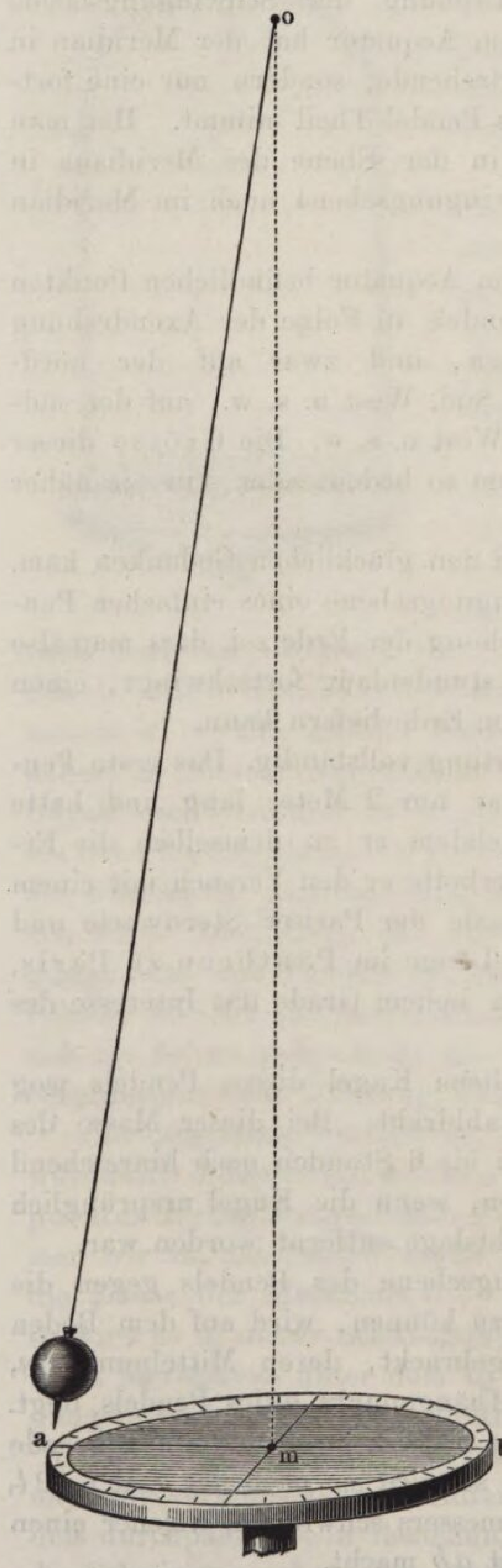
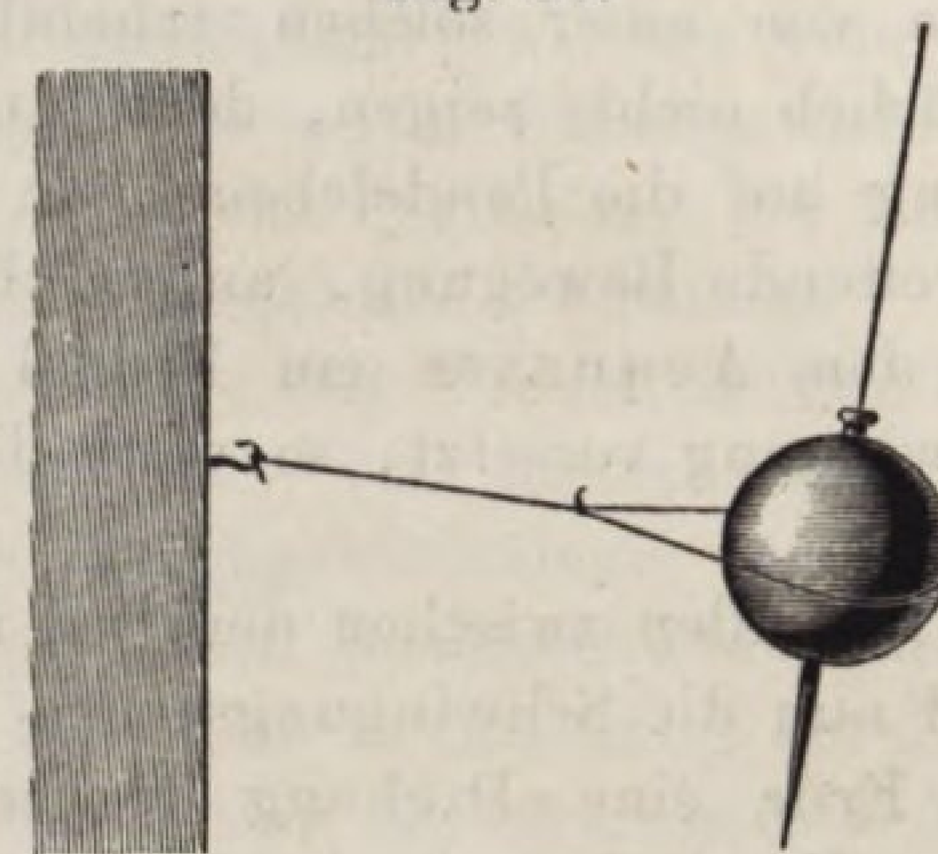


Fig. 50.



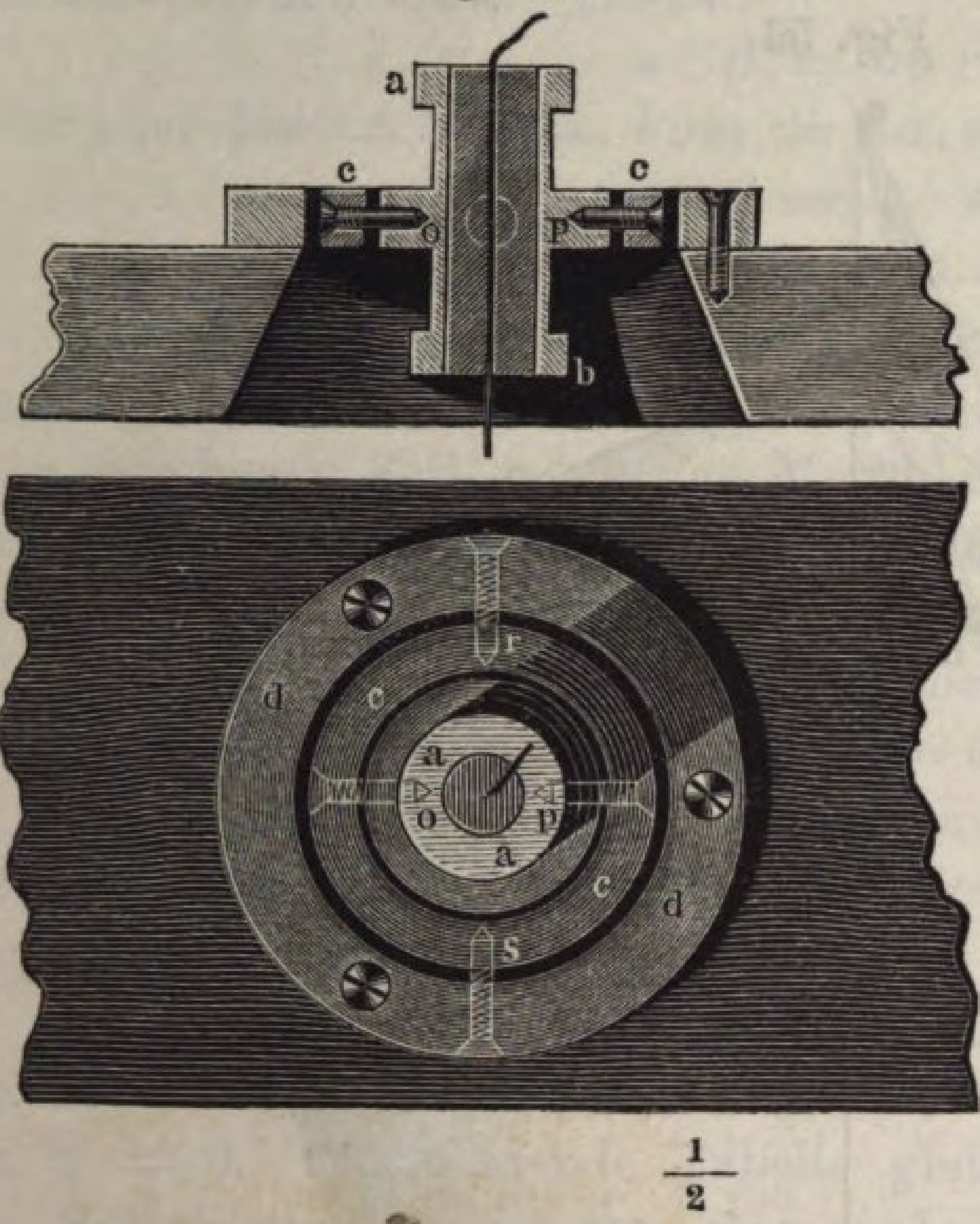
folgende Weise erreicht: die aus ihrer Gleichgewichtslage entfernte Kugel wird, wie man in Fig. 50 sieht, mit einem Faden umfasst, welcher an einem seitlich befindlichen festen Gegenstand befestigt ist. Wenn nun die Pendelkugel in dieser Lage vollständig zur Ruhe gekommen ist, wird unter Vermeidung jeder Erschütterung der Faden mittelst eines angezündeten Streichhölzchens abgebrannt und dadurch die Oscillationen des Pendels eingeleitet.

Bei dem Foucault'schen Versuch war das obere Ende des Stahldrahtes durch ein gleich weites in eine starke Metallplatte gebohrtes Loch hindurchgezogen und auf der oberen Fläche dieser Metallplatte befestigt; die Metallplatte selbst war aber unbeweglich an dem Gewölbe befestigt, von welchem das Pendel herunter hing.

Um jede, von einer etwaigen Torsion oder Biegung des Drahtes herrührende Störung zu vermeiden, kann man auch die Cardani'sche Aufhängung in Anwendung brin-

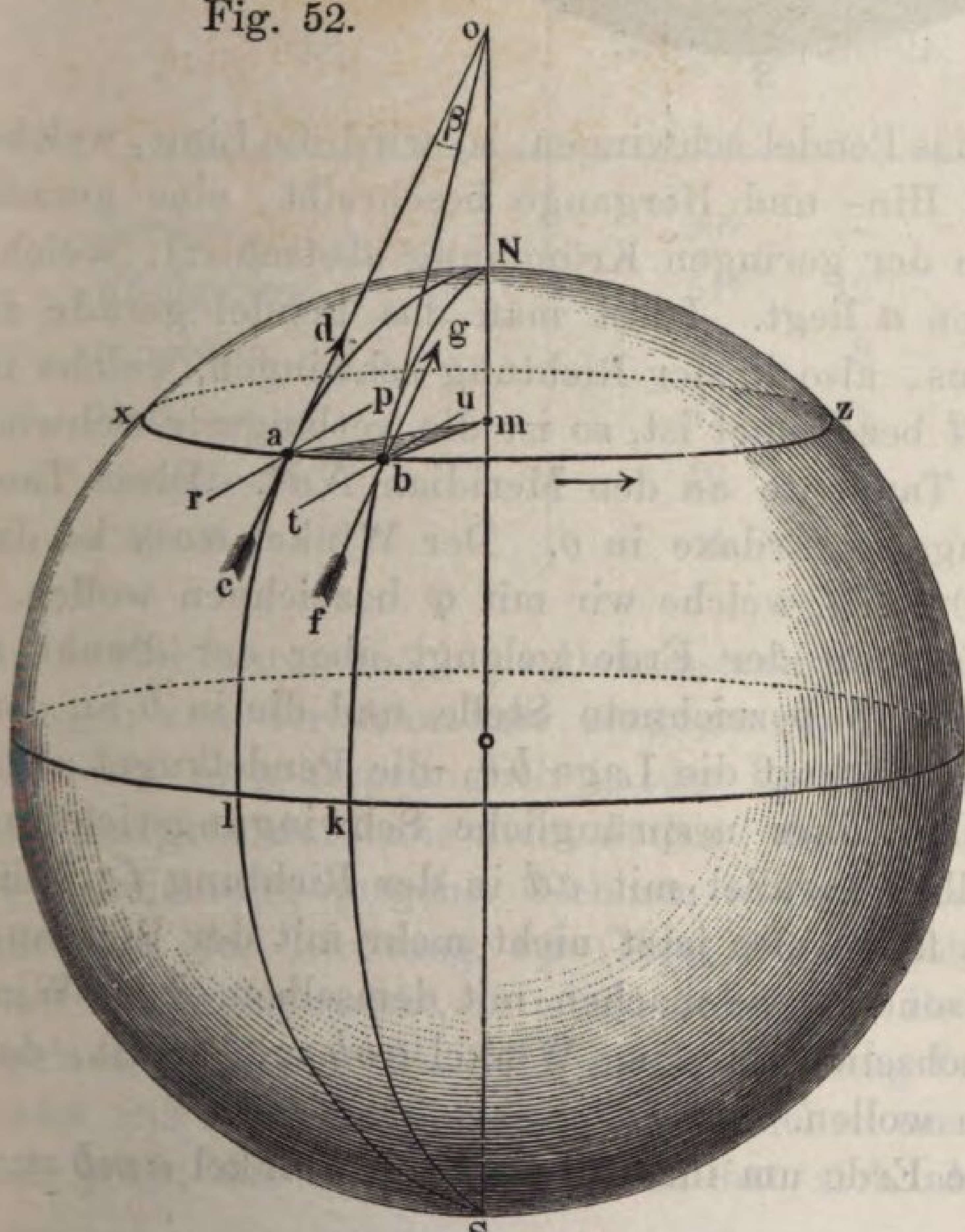
gen, welche in Fig. 51 in einer Form dargestellt ist, welche ursprünglich für einen anderen, später zu besprechenden Apparat construirt war.

Fig. 51.



Das obere Ende des Aufhängedrahtes ist in der Axe einer Messinghülse ausgespannt und dann die Höhlung derselben mit Blei ausgegossen. Um zu verhindern, dass der Draht etwa durch das Gewicht der Pendelkugel aus der Bleimasse herausgezogen wird, kann man sein oben aus der Bleimasse hervorragendes Ende umbiegen und zwei- oder dreimal um die Messinghülse herum winden. In ihrer Mitte nun ist die Hülse ab von einem Messingring umgeben, welcher um die diametral einander gegenüberstehenden Zapfen o und p drehbar ist. Die beiden horizontalen Zapfen o und p sind aber von dem Messingringe c getragen, welcher selbst wieder um die diametral einander gegenüberstehenden Zapfen r und s drehbar ist, deren Axe rechtwinklig steht zu der Axe von o und p. Die Zapfen r und s endlich sind von einem Messingringe d getragen, welcher auf einem die ganze Vorrichtung tragenden Brett befestigt wird.

Fig. 52.

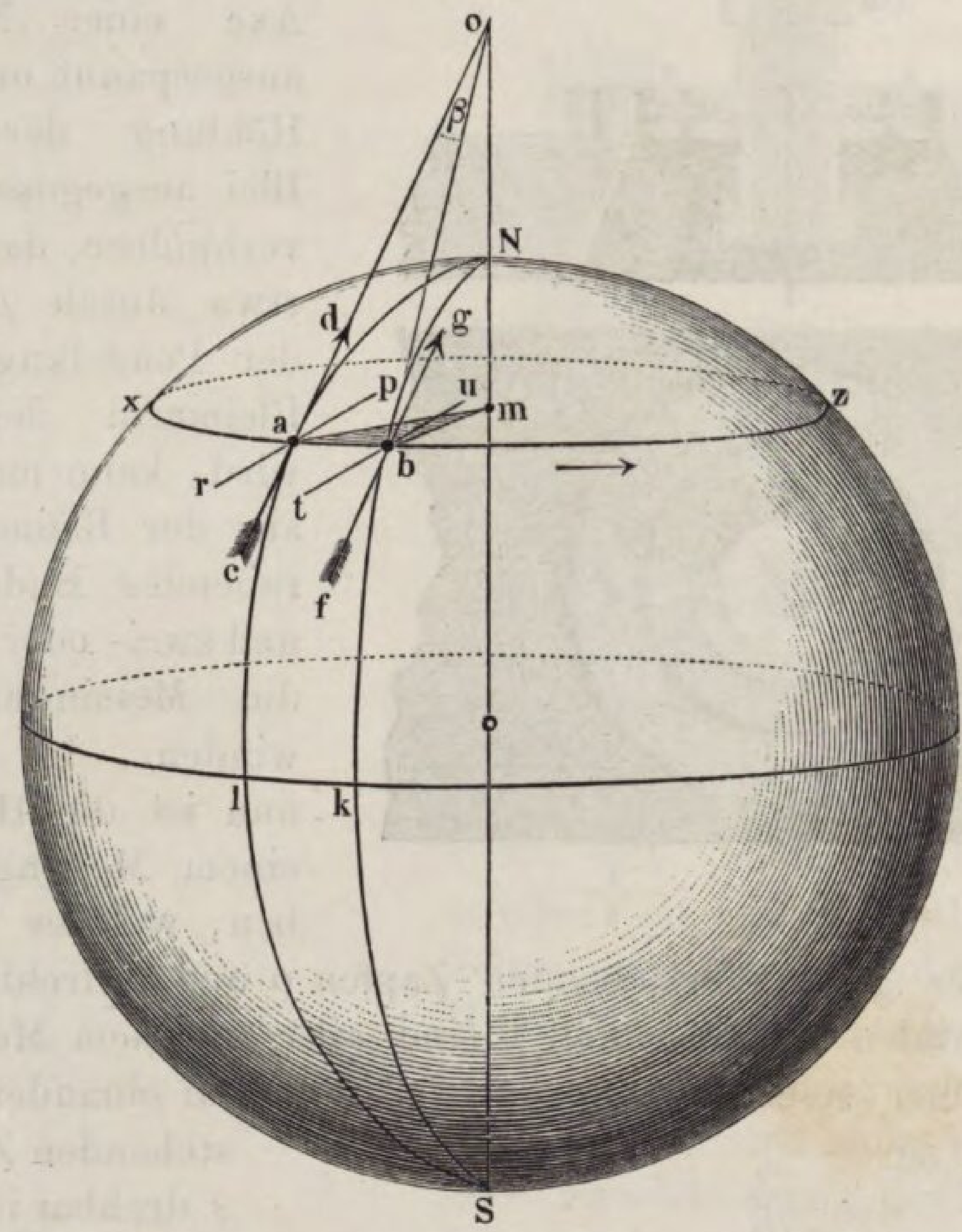


Untersuchen wir nun, welches die Grösse der scheinbaren Drehung der Schwingungsebene, welche am Pol offenbar 15^0 in der Stunde beträgt, für verschiedene Orte der Erdoberfläche sein muss.

Fig. 52 stelle die Erdkugel, NS die Umdre-

hungsaxe derselben vor; es sei ferner $xabz$ der Parallelkreis, auf welchem der Pendelversuch angestellt wird, und m sei der Mittelpunkt dieses Parallelkreises.

Fig. 53.



Lässt man nun in a das Pendel schwingen, so wird die Linie, welche die Pendelkugel bei ihrem Hin- und Hergange beschreibt, eine gerade Linie sein (wenn man von der geringen Krümmung abstrahirt), welche in der Horizontalebene von a liegt. Lässt man das Pendel gerade in der Richtung des Meridians, also in der Richtung schwingen, welche in Fig. 52 durch den Pfeil cd bezeichnet ist, so ist die verlängerte Schwingungslinie jedenfalls eine Tangente an den Meridian Nal. Diese Tangente schneidet die verlängerte Erdaxe in o. Der Winkel aom ist die geographische Breite des Ortes a, welche wir mit φ bezeichnen wollen.

In Folge der Axendrehung der Erde gelangt aber der Punkt a nach einiger Zeit an die mit b bezeichnete Stelle und die in b an den Meridian gelegte Tangente hat jetzt die Lage bo, die Pendelkugel aber, welche vermöge der Trägheit ihre ursprüngliche Schwingungsrichtung beizubehalten strebt, oscillirt parallel mit cd in der Richtung fg, die Schwingungen des Pendels fallen also jetzt nicht mehr mit der Richtung des Meridians zusammen, sondern sie machen mit demselben einen Winkel gbo, welcher als Wechselwinkel dem Winkel aob gleich ist, den wir kurz mit β bezeichnen wollen.

Während sich also die Erde um ihre Axe um den Winkel $amb = \alpha$

dreht, dreht sich die Schwingungsebene des Pendels in Beziehung auf die Richtung des Meridians um den Winkel β, dessen Werth nunmehr ermittelt werden muss. Es ist:

$$\alpha : \beta = bo : bm;$$

es ist aber $bm = bo . sin. bom = bo . sin. \varphi$, folglich haben wir

$$\alpha : \beta = 1 : sin. \varphi,$$

$$\beta = \alpha . sin. \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Man erhält also den Winkel, um welchen sich die Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels an irgend einem Ort der Erdoberfläche in einer gegebenen Zeit gegen den Meridian des Ortes drehen muss, wenn man die gleichzeitige Drehung des Polarpendels mit dem Sinus der geographischen Breite des Beobachtungsortes multiplicirt.

Da sich nun die Schwingungsebene eines auf dem Pole aufgehängten einfachen Pendels in einer Stunde um 15^0 dreht, so ist $15 . sin. \varphi$ die Anzahl der Grade, um welche sich in einer Stunde die Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels an einem Orte drehen muss, dessen geographische Breite φ ist.

Die fragliche Drehung der Schwingungsebene nimmt also ab mit der Entfernung vom Pol, sie wird = 0 auf dem Aequator, weil hier $sin. \varphi = 0$. Die folgende Tabelle giebt für einige Orte die Drehung der Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels während einer Stunde an:

Ort.	Geograph. Breite.		Grösse der Drehung in einer Stunde.
Nordpol	90^0	—	15^0
Königsberg	54^0	42′	12,83
München	48	8	11,31
Rom	41	54	10,16
Mexico	19	25	5,04
Cayenne	4	56	1,31

Wir waren in obiger Demonstration der Einfachheit der Betrachtung wegen von der Annahme ausgegangen, dass die Schwingungsebene des Pendels in a ursprünglich in der Richtung des Meridians stattfinde; es ist übrigens durchaus nicht nöthig, dass man gerade von dieser Schwingungsrichtung ausgehe. Nehmen wir an, das Pendel schwinge ursprünglich in der Richtung rp (Fig. 53), welche einen Winkel pao mit dem Meridian macht, so wird, wenn der Beobachtungsort von a nach b gelangt ist, nun die Schwingungsrichtung tu des Pendels einen Winkel ubo mit dem Meridian machen, welcher um gbo, also um β grösser ist als pao, die Schwingungsebene hat sich also auch jetzt scheinbar um

den Winkel β gedreht, also gerade so viel, als ob die Schwingungen in der Meridianebene begonnen hätten.

Obgleich die Axendrehung der Erde schon vorher zu den unzweifelhaftesten Lehren der Physik gezählt wurde, so erregte doch der Foucault'sche Pendelversuch in der ganzen physikalischen Welt das grösste Interesse; er wurde an vielen Orten wiederholt und überall bestätigt gefunden, wo man hinreichend lange Pendel mit genügender Sicherheit aufgehängt und Alles beseitigt hatte, was störend auf die Regelmässigkeit des Ganges hätte einwirken können.

Zu den gelungensten Wiederholungen des Foucault'schen Pendelversuchs in Deutschland sind besonders die von Schwerd im Speyerer und die von Garthe im Kölner Dome angestellten zu rechnen.

Drittes Capitel.

Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derselben.

Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe. Dass 24
die Sonne ihre Stelle am Fixsternhimmel fortwährend ändert, geht schon aus der oberflächlichsten Beobachtung hervor. Während sie nämlich gegen Ende März gerade im Osten aufgeht, geht sie im Sommer weit mehr nördlich, im Winter weit mehr südlich auf. Im Sommer ist ihr Tagbogen, im Winter ist ihr Nachtbogen grösser, und daraus folgt, dass sie während des Sommers nördlich, während des Winters südlich vom Himmelsäquator steht. Aber nicht allein rechtwinklig zu dem Aequator bewegt sich die Sonne, sondern auch parallel mit demselben, was daraus hervorgeht, dass zu derselben Tageszeit in verschiedenen Jahreszeiten immer andere Sterne culminiren, wie wir bereits S. 15 gesehen haben.

Am 10. Januar culminiren um Mitternacht: Castor und Pollux im Sternbild der Zwillinge und Procyon im Sternbild des kleinen Hundes. Daraus folgt, dass die Rectascension der Sonne um diese Zeit um 180^0 grösser ist, als die der genannten Sterne, dass sie also der Sternkarte Tab. IV. zufolge ungefähr 294^0 beträgt. Da nun ferner am 10. Januar die südliche Declination der Sonne ungefähr 20^0 ist, so lehrt ein Blick auf die erwähnte Karte, dass um diese Zeit die Sonne im Sternbild des Schützen steht. Dass also Leyer, Schwan, Adler u. s. w. diejenigen Sternbilder sind, welche gerade an dem bezeichneten Tage zur Mittagszeit dem Meridian nahe stehen.

Die Bahn, welche die Sonne am Himmel zurücklegt und welche den Namen der Ekliptik führt, ergiebt sich ganz einfach, wenn man nach der im Cap. I, §. 12, entwickelten Methode in bestimmten Zeitintervallen, etwa von Tag zu Tag, die Rectascension und Declination der Sonne bestimmt.

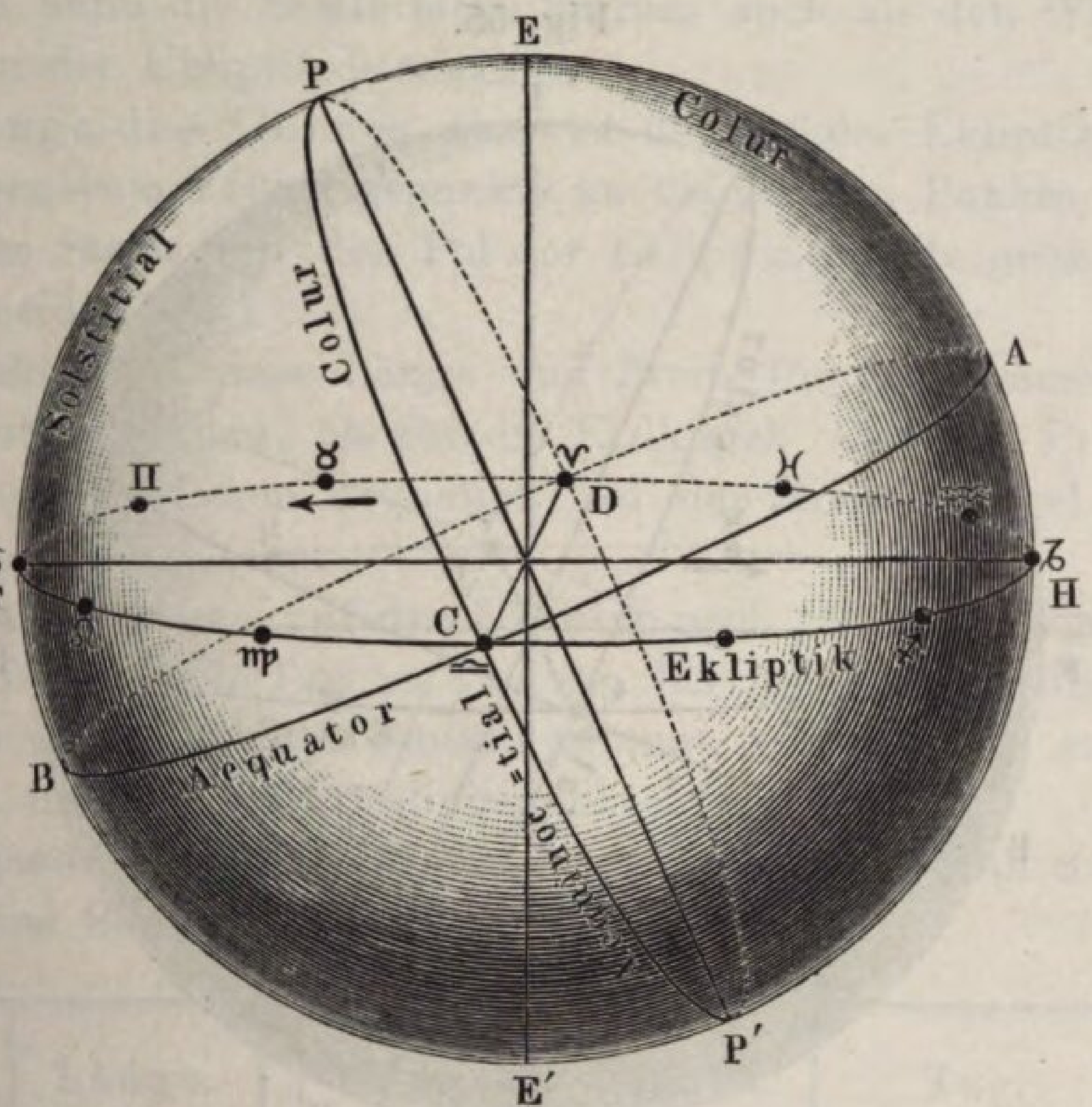
Die folgende Tabelle giebt die Rectascension und Declination der Sonne für das Jahr 1855 von 8 zu 8 Tagen, und zwar im Moment des wahren Berliner Mittags.

Tag.	Rectascension.		Declination.		
1. Januar	18h	45,8′	23°	2,5′	südlich
9. „	19	21,0	22	9,2	„
17. „	19	55,5	20	48,3	„
25. „	20	29,4	19	2,1	„
2. Februar	20	58,2	17	10,9	„
10. „	21	34,4	14	26,5	„
18. „	22	5,6	11	43,8	„
26. „	22	36,2	8	49,4	„
6. März	23	6,1	6	9,8	„
14. „	23	35,5	2	38,9	„
22. „	0	4,7	0	30,7	nördlich
30. „	0	33,8	3	38,9	„
7. April	1	2,9	6	42,6	„
15. „	1	32,3	9	39,1	„
23. „	2	2,0	12	25,5	„
1. Mai	2	32,2	14	58,8	„
9. „	3	3,0	17	16,3	„
17. „	3	34,5	19	15,5	„
25. „	4	6,5	20	42,7	„
2. Juni	4	39,0	22	9,2	„
10. „	5	11,9	23	0,0	„
18. „	5	45,1	23	25	„
26. „	6	18,4	23	23,5	„
4. Juli	6	57,5	22	55,9	„
12. „	7	24,3	22	2,7	„
20. „	7	56,7	20	45,2	„
28. „	8	28,4	19	5,5	„
5. August	8	59,5	17	5,6	„
13. „	9	30,0	14	48,0	„
21. „	9	59,9	12	15,2	„
29. „	10	29,3	9	30,0	„
6. September	10	58,3	6	35,2	„
14. „	11	27,1	3	33,3	„
22. „	11	55,8	0	27,3	„
30. „	12	24.6	2	39,9	südlich
8. October	12	53,7	5	45,4	„
16. „	13	23,3	8	46,2	„
24. „	13	53,5	11	39,0	„
1. November	14	24,4	14	20,4	„
9. „	14	56,1	16	49,2	„
17. „	15	28,8	18	55,7	„
25. „	16	2,3	20	42,5	„
3. December	16	36,7	22	4,7	„
11. „	17	11,7	22	59,7	„
19. „	17	47,1	23	25,6	„
27. „	18	22,6	23	21,5	„

Nach dieser Tabelle sind die Sonnenorte der genannten Tage in der Sternkarte Tab. IV. eingetragen und durch eine krumme Linie verbunden. Bei genauerer Untersuchung ergiebt sich nun, dass die Bahn, welche die Sonne im Laufe eines Jahres auf dem Himmelsgewölbe durchläuft, ein grösster Kreis ist, wie man am leichtesten übersieht, wenn man die Sonnenorte der obigen Tabelle nicht in einer ebenen Himmelskarte, sondern auf einem Himmelsglobus aufträgt.

Fig. 54 dient dazu, die gegenseitige Lage des Himmelsäquators und der Ekliptik anschaulich zu machen. PP' ist die Axe der Himmels-

Fig. 54.



kugel, $ACBD$ ist der Aequator, $HCFD$ die Ekliptik. Diese beiden Kreise schneiden sich in den Punkten D und C, welche den Namen die Aequinoctialpunkte führen, weil in der Zeit, wo die Sonne sich in denselben, also auf dem Himmelsäquator befindet, Tag und Nacht gleich sind. Den einen dieser Punkte passirt die Sonne am 21. März, den anderen am 22. September.

Aus der Sternkarte Tab. IV. ersehen wir, dass der Punkt, in welchem die Sonne am 21. März den Aequator passirt, im Sternbild der Fische liegt. Dies ist der Punkt des Frühlingsäquinoctiums, der Punkt, von welchem aus die Rectascension der Gestirne gezählt wird. Man nennt diesen Punkt auch kurz den Frühlingspunkt.

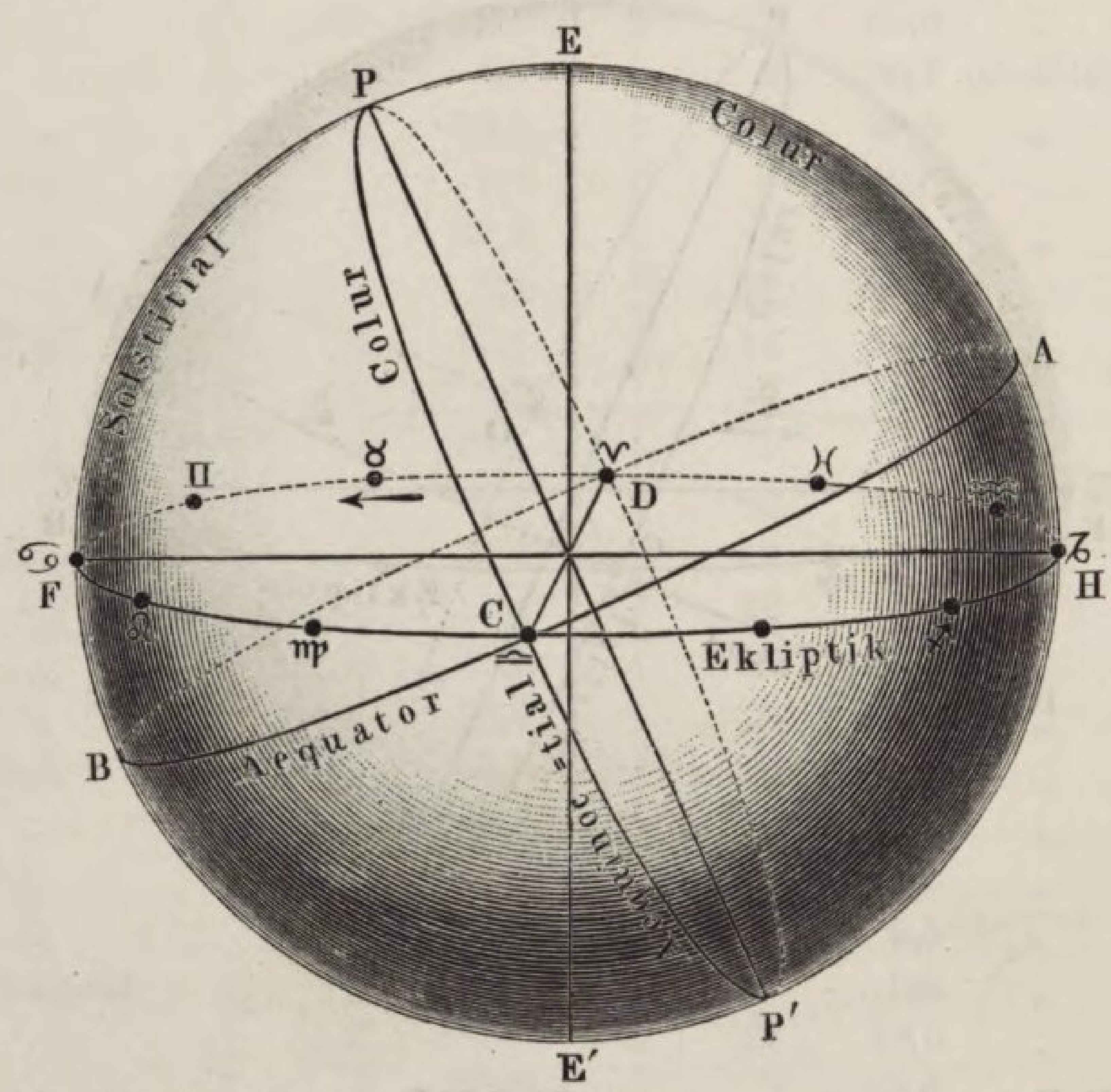
Der Punkt des Herbstäquinoctiums, der Herbstpunkt, welchen die Sonne am 22. September passirt, liegt im Sternbild der Jungfrau. Vom 21. März bis zum 22. September bleibt die Sonne auf der

nördlichen Hemisphäre des Himmels; am 22. September tritt sie auf die südliche Halbkugel, welche sie erst am 21. März wieder verlässt.

Am 22. Juni erreicht die Sonne ihre grösste nördliche, am 22. December ihre grösste südliche Declination von 23° 28′, woraus sich ergiebt, dass der Winkel, welchen die Ebene der Ekliptik mit der Ebene des Aequators macht, 23° 28′ beträgt. Dieser Winkel wird die Schiefe der Ekliptik genannt.

Die Punkte *F* und *H*, Fig. 55, in welchem die Sonne ihre grösste nördliche und ihre grösste südliche Declination erreicht, heissen die Punkte der Sonnenwende oder die Solstitialpunkte.

Fig. 55.



Die Kreise *PDP′C* und *PBP′A*, Fig. 55, werden Coluren genannt, und zwar ist der Kreis, welcher durch die beiden Himmelspole und die Aequinoctialpunkte *C* und *D* geht, der Aequinoctialcolur, während der Kreis, welcher durch die Himmelspole und die Solstitialpunkte *F* und *H* geht, der Solstitialcolur genannt wird.

Die Ebenen der beiden Coluren machen einen Winkel von 90° mit einander.

25 **Pol der Ekliptik, Länge und Breite am Himmel.** Je zwei grösste Kreise der Himmelskugel, welche rechtwinklig auf der Ekliptik stehen, schneiden sich in den Punkten *E* und *E′*, welche sich zu der Ekliptik gerade so verhalten, wie der Nord- und Südpol des Himmels zu dem Himmelsäquator; diese Punkte sind die Pole der Ekliptik.

Da der Solstitialcolur auch rechtwinklig auf der Ekliptik steht, so

müssen die Pole der Ekliptik nothwendig auf dem Solstitialcolur liegen, und zwar stehen sie auf diesem Solstitialcolur um 90^0 von den Solstitialpunkten F und H der Ekliptik ab, sie liegen also $23^0\ 28'$ von den Polen P und P' des Aequators entfernt.

Der nördliche Pol der Ekliptik liegt in dem Sternbilde des Drachen; in der Sternkarte Tab. III. ist er besonders bezeichnet.

Die Ekliptik kann zur Ortsbestimmung auf der Himmelskugel ebenso dienen, wie der Himmelsäquator. Denkt man sich durch irgend einen Stern und den Pol der Ekliptik einen grössten Kreis gelegt, so heisst das Bogenstück zwischen dem Stern und der Ekliptik die **Breite** des Sternes; man kann die Breite eines Sternes auch als den Winkelabstand derselben von der Ekliptik bezeichnen.

Die **Länge des Sternes** aber ist der auf der Ekliptik nach Osten gezählte Bogen vom Frühlingspunkte an bis zu dem Punkte, in welchem der durch den Stern und den Pol der Ekliptik gelegte grösste Kreis die Ekliptik schneidet.

Man sieht also, dass Länge und Breite für die Himmelskugel eine andere Bedeutung haben, als für die Erdkugel. Auf der Erdkugel werden die Längen auf dem Aequator, auf der Himmelskugel werden sie auf der Ekliptik abgelesen.

Da sich die Sonne auf der Ekliptik nach Osten hin fortbewegt, so nimmt ihre Breite von Tag zu Tag zu, bis sie zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums wieder in dem Punkte anlangt, von welchem aus die Länge gezählt wird, nämlich im Frühlingspunkte.

Die folgende Tabelle giebt die Länge der Sonne von 8 zu 8 Tagen für den wahren Berliner Mittag im Jahre 1855:

Tag.	Länge.	Tag.	Länge.	Tag.	Länge.
1. Januar.	280° 32,6′	1. Mai.	40° 29,6′	6. Septbr.	163° 15,8′
9. „	288 41,7	9. „	48 14,0	14. „	171 3,0
17. „	296 50,7	17. „	55 57,0	22. „	178 52,1
25. „	304 59,1	25. „	63 38,4	30. „	186 43,1
2. Februar.	313 6,4	2. Juni.	71 18,3	8. Octbr.	194 36,5
10. „	321 12,4	10. „	78 57,4	16. „	202 32,1
18. „	329 17,2	18. „	86 35,9	24. „	210 29,8
26. „	337 20,2	26. „	94 13,7	1. Novbr.	218 29,4
6. März.	345 21,1	4. Juli.	101 51,2	9. „	226 31,2
14. „	353 20,1	12. „	109 28,9	17. „	234 34,9
22. „	1 17,2	20. „	117 7,0	25. „	242 40,0
30. „	9 11,9	28. „	124 45,5	3. Decbr.	250 46,5
7. April.	17 4,4	5. August.	132 24,8	11. „	258 54,3
15. „	24 54,9	13. „	140 5,5	19. „	267 2,9
23. „	32 43,3	21. „	147 47,4	27. „	275 11,9
		29. „	155 30,7		

Da die Sonne die Ekliptik nicht genau in 365 Tagen durchläuft, sondern dazu nahe $365^1/_4$ Tag braucht, so wird sie auch am Mittag eines bestimmten Tages nicht genau an derselben Stelle der Ekliptik stehen, an welcher sie sich an dem Mittag desselben Tages im vorigen Jahre befand. So war z. B. die Länge der Sonne zur Zeit des wahren Berliner Mittags am 22. März 1854 gleich 1^0 31,5′. Am Mittag des 22. März 1855 hatte sie diesen Punkt noch nicht wieder erreicht, da ihre Länge zu dieser Zeit nur 1^0 17,2′ betrug. Daraus ergiebt sich nun, dass auch Rectascension und Declination der Sonne für den wahren Mittag der gleichen Monatstage in verschiedenen Jahren nicht dieselbe sein kann.

Auf diese Weise würde die Länge der Sonne für den gleichen Jahrestag fortwährend abnehmen, wenn man nicht alle vier Jahre durch Einschaltung eines Tages (Schalttag) eine Ausgleichung zu Stande brächte, von welcher weiter unten ausführlicher die Rede sein soll.

Die astronomischen Jahrbücher oder Ephemeriden, welche stets auf einige Jahre voraus berechnet werden, enthalten für jeden Tag des Jahres und zwar für den wahren Mittag der Sternwarte, auf welche sie sich beziehen, die Länge, die Rectascension und die Declination der Sonne bis auf Bruchtheile von Secunden genau.

26 **Der Thierkreis.** Die Sternbilder, welche die Sonne durchläuft, sind (Tab. IV.) der Reihe nach: die Fische, der Widder, der Stier, die Zwillinge, der Krebs und der Löwe auf der nördlichen, die Jungfrau, die Wage, der Scorpion, der Schütze, der Steinbock und der Wassermann auf der südlichen Hemisphäre des Himmels.

Der Gürtel dieser zwölf von der Sonnenbahn durchschnittenen Sternbilder wird der Thierkreis oder der Zodiacus genannt.

Früher theilte man die Ekliptik zuerst in zwölf gleiche Theile und dann jeden derselben wieder in 30^0, wodurch dann ebenfalls die 360^0 herauskommen. Diese zwölf Theile nennt man die Zeichen der Ekliptik. Diese Zeichen führen die Namen benachbarter Sternbilder des Thierkreises, und zwar heissen sie vom Frühlingspunkte an nach Osten gerechnet:

♈	♉	♊	♋	♌	♍
Widder,	Stier,	Zwillinge,	Krebs,	Löwe,	Jungfrau
♎	♏	♐	♑	♒	♓
Wage,	Scorpion,	Schütze,	Steinbock,	Wassermann,	Fische.

Auf Tab. IV. ist der Anfangspunkt eines jeden dieser zwölf Zeichen durch die ihm entsprechende Figur angedeutet.

Das Zeichen des Widders entspricht also der Länge von 0 bis 30^0, das Zeichen des Stiers von 30^0 bis 60^0. Das Zeichen der Wage erstreckt sich vom 180. bis 210. Längengrade u. s. w.

Man sieht, dass die Zeichen der Ekliptik mit den gleichnamigen Sternbildern nicht zusammenfallen. Die Sonne befindet sich im Zeichen des Widders, während sie im Sternbilde der Fische steht;

wenn sie in das Sternbild des Widders übergeht, so tritt sie in das Zeichen des Stiers u. s. w., kurz, jedes Zeichen der Ekliptik führt den Namen des nach Osten hin an dasselbe gränzenden Sternbildes. Wenn die Sonne sich im Zeichen des Krebses befindet, so steht sie im Sternbilde der Zwillinge.

Woher diese Verschiedenheit zwischen Zeichen und Sternbild rührt, das werden wir in einem späteren Capitel sehen.

Wahre und mittlere Sonnenzeit. Die Sonne schreitet auf der Ekliptik in der Richtung von Westen nach Osten voran, also der täglichen Bewegung der Gestirne entgegen. Daher kommt es denn, dass, wie bereits in §. 3 angeführt wurde, der Sonnentag länger ist als der Sterntag; denn wenn heute die Sonne gleichzeitig mit einem bestimmten Sterne culminirt, so wird bis zu dem Momente, in welchem derselbe Stern morgen wieder culminirt, die Sonne etwas nach Osten hin fortgeschritten sein, also etwas später als der fragliche Stern in den Meridian treten. 27

Es ist nun leicht, das auf S. 11 bereits angegebene Verhältniss zwischen Sternzeit und mittlerer Sonnenzeit zu berechnen. Die Zeit, welche die Sonne braucht, um, vom Frühlingspunkte ausgehend, wieder in demselben anzukommen, die Zeit also, welche die Sonne braucht, um die ganze Ekliptik einmal zu durchlaufen, nennen wir das Jahr. Das Jahr hat (annähernd) 365 Tage; auf diese 365 Tage kommen aber 366 Sterntage, da ja die Sonne während dieser Zeit gerade einmal um den Himmel herumgegangen ist. Das Verhältniss des Sonnentages zum Sterntage ist also $\frac{366}{365} = 1,00274$, und daraus folgt, dass 1 Stunde Sonnenzeit gleich ist $1^h\ 0'\ 9,8''$ Sternzeit, wie bereits oben angegeben wurde.

Während nun ein Sterntag dem anderen vollkommen gleich ist, haben die Sonnentage keineswegs eine gleiche Dauer. Wenn alle Sonnentage gleich sein sollten, so müsste die Aenderung in der Rectascension der Sonne von einem Tage zum anderen das ganze Jahr hindurch vollkommen gleich bleiben. Das ist aber nicht der Fall, wie man aus der Tabelle auf S. 78 leicht ersehen kann. Vom 12. bis zum 20. Juli z. B. ändert sich die gerade Aufsteigung der Sonne um 32,4 Minuten, während sie vom 19. bis 27. December um 35,5 Minuten zunimmt, woraus man entnehmen kann, dass die Zeit, welche von einer Culmination der Sonne bis zur folgenden vergeht, im December etwas grösser ist als im Juli.

Zwei Ursachen wirken hier zusammen, um die erwähnte Ungleichheit der Sonnentage hervorzubringen. Diese Ursachen sind:

1) Dass die Ekliptik nicht mit dem Himmelsäquator parallel liegt. Wenn sich auch die Sonne in der Ekliptik mit stets gleicher Geschwindigkeit fortbewegte, so würde doch einem und demselben Wegstücke zur Zeit der Aequinoctien, wo die Sonnenbahn einen bedeutenden Winkel mit dem Aequator bildet, eine geringere Aenderung in der Rectascension

entsprechen, als zur Zeit der Solstitien, wo die Sonne fast parallel mit dem Aequator fortschreitet (siehe die Sternkarte Tab. IV.).

2) Dass die Sonne sich auch in der Ekliptik nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt, sondern zur Zeit unseres Winters schneller fortschreitet als während unseres Sommers. Um sich davon zu überzeugen, messe man z. B. auf der Sternkarte Tab. IV. den Weg, den die Sonne vom 2. bis zum 26. Juni zurücklegt, und man wird finden, dass er merklich kleiner ist als das Bahnstück vom 1. bis 25. Januar.

Dasselbe ersieht man auch aus der Tabelle auf Seite 81. Vom 4. bis 12. Juli wächst die Länge der Sonne nur um $7^0\ 37{,}7'$, während sie vom 1. bis 9. Januar um $8^0\ 9{,}1'$ zunimmt. Am schnellsten wächst die Länge der Sonne am 1. Januar, wo der in 24 Stunden beschriebene Bogen der Ekliptik $1^0\ 1'\ 10{,}1''$ beträgt, während zur Zeit des langsamsten Fortschreitens, am 1. Juni, der in 24 Stunden von der Sonne beschriebene Bogen nur $57'\ 11{,}8''$ beträgt.

Eine Folge davon, dass die Sonne in ihrer Bahn mit ungleicher Geschwindigkeit fortschreitet, ist auch die, dass sie eine längere Zeit braucht, um die nördliche Hälfte der Ekliptik zu durchlaufen, als sie braucht, um vom Herbstpunkte aus zum Frühlingspunkte zurückzukehren. Vom 21. März bis zum 22. September sind 186 Tage, vom 22. September bis zum 21. März sind ihrer nur 179, die Sonne verweilt also auf der nördlichen Halbkugel des Himmels volle 7 Tage länger als auf der südlichen.

Was die Ursache dieser Ungleichheiten ist, werden wir später untersuchen. Hier haben wir es zunächst nur mit der ungleichen Dauer der Sonnentage zu thun.

Es ist klar, dass sich im bürgerlichen Leben alle Zeiteintheilung nach der Sonne richten muss, weil die Abwechselung von Tag und Nacht maassgebend ist für die Eintheilung aller Beschäftigungen des bürgerlichen Lebens, wie ja auch im Thier- und Pflanzenleben die Abwechselung von Tag und Nacht eine bedeutende Rolle spielt.

So lange man noch mit mechanischen Uhren von geringer Genauigkeit zu thun hatte, war kein Anstand, da sie doch öfters gerichtet werden mussten, diese Uhren alle paar Tage nach der Sonne zu stellen; ob man sie einmal etwas schneller, dann wieder langsamer musste laufen lassen, ob man sie etwas mehr oder weniger verstellte, das war gleichgültig. Astronomische Uhren aber, wie überhaupt gute Uhren, bei welchen ein möglichst gleichförmiger Gang die erste Bedingung ist, können unmöglich nach wahrer Sonnenzeit gerichtet werden.

Um aber doch den Sonnentag der Hauptsache nach als Zeiteinheit beizubehalten, und dennoch ein gleichförmiges Zeitmaass zu haben, hat man statt des wahren veränderlichen, einen mittleren Sonnentag von stets gleichbleibender Länge eingeführt. Denkt man sich die Dauer eines gewöhnlichen Jahres von 365 Tagen in 365 vollkommen gleiche Theile getheilt, so ist ein solcher Theil der mittlere Sonnentag.

Eine schärfere Definition des mittleren Sonnentages ist folgende. Denkt man sich eine Sonne, welche mit vollkommen gleichförmiger Geschwindigkeit den Himmelsäquator in derselben Zeit durchläuft, welche die wahre Sonne braucht, um die Ekliptik zu durchlaufen, so ist die Zeit von einer Culmination dieser eingebildeten Sonne bis zur nächsten der mittlere Sonnentag.

Die wahren Sonnentage sind nun bald etwas länger, bald etwas kürzer, als der mittlere, der wahre Mittag ist also bald etwas vor dem mittleren voraus, bald bleibt er etwas gegen denselben zurück. Der Zeitunterschied zwischen dem mittleren und wahren Mittag wird die **Zeitgleichung** genannt.

Der numerische Werth der Zeitgleichung für die einzelnen Tage des Jahres hängt davon ab, für welchen Moment man annimmt, dass die fingirte Sonne gleiche Rectascension mit der wahren habe. Man hat für diesen Moment die Zeit angenommen, in welcher die Rectascension der wahren Sonne am schnellsten wächst (24. December), und so ergeben sich denn von 8 zu 8 Tagen folgende Werthe der Zeitgleichung:

Monatstag.	M. Z. — W. Z.		Monatstag.	M. Z. — W. Z.	
1. Januar.	+ 3′	43″	4. Juli.	+ 3′	57″
9. „	+ 7	17	12. „	+ 5	12
17. „	+ 10	18	20. „	+ 6	0
25. „	+ 12	34	28. „	+ 6	12
2. Februar.	+ 13	59	5. August.	+ 5	46
10. „	+ 14	31	13. „	+ 4	42
18. „	+ 14	14	21. „	+ 3	4
26. „	+ 13	13	29. „	+ 1	12
6. März.	+ 11	34	6. September.	— 1	37
14. „	+ 9	30	14. „	— 4	21
22. „	+ 7	9	22. „	— 7	10
30. „	+ 4	41	30. „	— 9	53
7. April.	+ 2	17	8. October.	— 12	18
15. „	+ 0	7	16. „	— 14	16
23. „	— 1	40	24. „	— 15	39
1. Mai.	— 2	59	1. November.	— 16	16
9. „	— 3	44	9. „	— 16	3
17. „	— 3	52	17. „	— 14	56
25. „	— 3	24	25. „	— 12	56
2. Juni.	— 2	26	3. December.	— 10	8
10. „	— 1	1	11. „	— 6	41
18. „	+ 0	39	19. „	— 2	49
26. „	+ 2	22	27. „	+ 1	9

Das Zeichen + zeigt an, dass der mittlere Mittag früher, das Zeichen —, dass er später ist als der wahre.

Den grössten negativen Werth hat die Zeitgleichung am 3. November, wo sie gleich — 16′ 18,5 Secunden ist; den grössten positiven Werth, + 14′ 31,3′′′, hat sie am 11. Februar. In der Mitte des Februar ist also der mittlere Mittag fast $^1/_4$ Stunde früher, zu Anfang des November etwas mehr als $^1/_4$ Stunde später als die Culmination der Sonne.

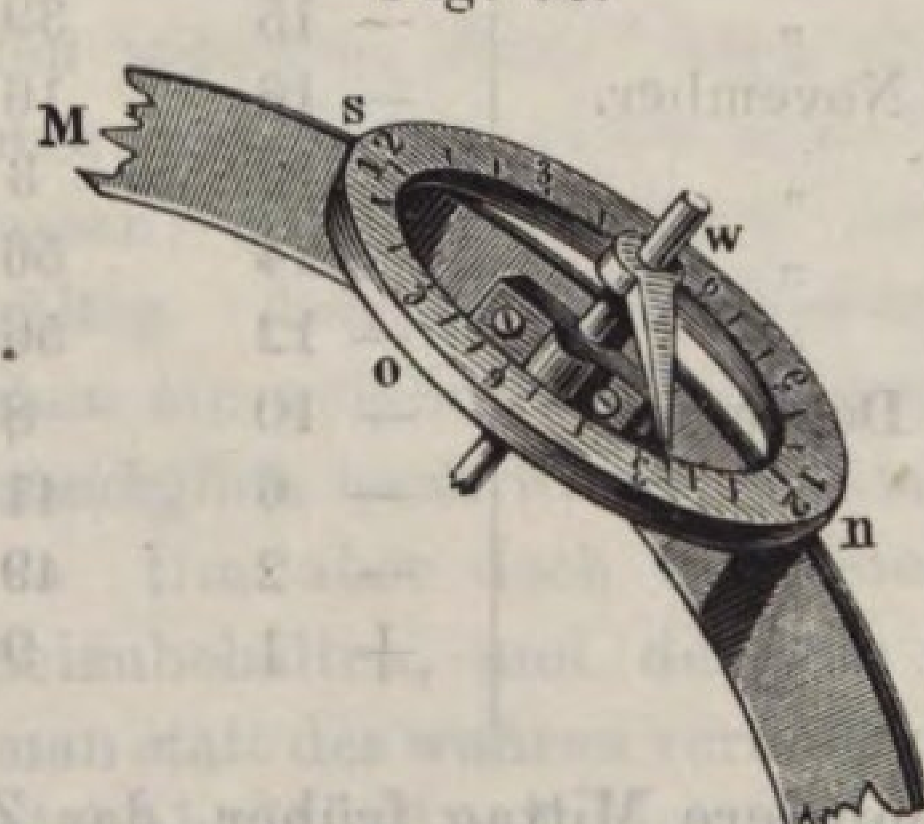
Ein Uebergang aus dem positiven ins negative Zeichen findet Statt am 15. April und 1. September, ein Uebergang aus dem negativen ins positive aber am 15. Juni und am 24. December.

Man bedient sich jetzt auch im bürgerlichen Leben allgemein der mittleren Sonnenzeit, die man aber mit Hülfe der Zeitgleichung jederzeit leicht aus Sonnenbeobachtungen ableiten kann.

28 **Anblick des Himmels in den Nachtstunden verschiedener Monate.** Jetzt, da wir die Wanderung der Sonne durch die Sternbilder des Thierkreises kennen gelernt haben, ergiebt es sich von selbst, warum man zu derselben Stunde der Nacht in verschiedenen Monaten nicht dieselben Sternbilder an derselben Stelle des Himmels erblickt, wie dies bereits besprochen wurde. Welche Sterne in einer gegebenen Stunde eines gegebenen Tages culminiren, ist aber leicht zu ermitteln, wenn man die Rectascension der Sonne für diesen Tag kennt. Man hat nämlich nur vom Stundenkreise, welchem für diesen Tag die Sonne angehört, auf dem Aequator so viele Stunden weiter nach Osten zu zählen, als seit der Culmination der Sonne verflossen sind. Es wird z. B. gefragt, welche Sterne culminiren am 24. October Abends 6 Uhr? Am 24. October ist die Rectascension der Sonne 13^h 53′. Um 6 Uhr Abends sind 6 Stunden vergangen, seit die Sonne durch den Meridian ging, es culminiren also um diese Zeit diejenigen Sterne, deren gerade Aufsteigung $13^h\ 53' + 6^h = 20^h\ 53'$ ist. Das Sternbild des Delphins und α cygni haben also ungefähr vor 20 Minuten den Meridian passirt, da ihre Rectascension 20^h 32′ ist.

Welches der Anblick des Himmels zu einer gegebenen Zeit ist, lässt sich am leichtesten mit Hülfe eines Himmelsglobus übersehen, wenn derselbe mit einem sogenannten Stundenringe versehen ist. In Fig. 4, Seite 9, ist der Stundenring des kleinen Maassstabes wegen ganz weggelassen, die Einrichtung desselben ist aber aus Fig. 56 zu ersehen.

Fig. 56.



Der Stundenring *swno* ist auf dem messingenen Meridianringe *MM* befestigt und in 24 gleiche Theile getheilt, welche den einzelnen Stunden entsprechen. Die Theilstriche bei *s* und *n* sind mit 12 bezeichnet und dann die Stunden von *s* über *w* bis *n* und von *n* über *o* bis *s* gezählt.

Die Axe, um welche sich der ganze Globus dreht, befindet sich im Mittelpunkte dieses Stundenringes und trägt einen Zeiger, welcher auf derselben feststeckt, aber sich mit einiger Reibung um denselben drehen lässt.

Um nun den Globus einer gegebenen Zeit entsprechend zu stellen, dreht man ihn zunächst so, dass der Ort des Himmels, an welchem die Sonne eben steht, gerade unter den Meridianring *M* zu stehen kommt, stellt dann den Zeiger auf 12 Uhr Mittags (der mit 12 bezeichnete Theilstrich bei *s*) und dreht nun den ganzen Globus sammt dem Zeiger so weit, bis letzterer die fragliche Stunde zeigt.

Soll z. B. der Globus so gestellt werden, wie es dem 17. Mai Abends 10 Uhr entspricht, so stellt man den Globus so, dass der auf dem Aequator mit $3^h\ 35'$ bezeichnete Punkt (Rectascension der Sonne am genannten Tage nach der Tabelle auf S. 78), also der Punkt des Aequators, welcher $53{,}7^0$ östlich vom Frühlingspunkte liegt, gerade im Meridian steht, dass also die Plejaden culminiren, und dreht dann die Kugel sammt Zeiger um 10 Stunden, die man auf dem Stundenringe abliest, nach Westen. Man sieht dann, dass das Sternbild der Jungfrau im Süden culminirt (Spica steht fast im Meridian), und dass die Sternbilder Cassiopeia und Andromeda den Meridian in unterer Culmination passiren; der grosse Löwe steht am südwestlichen, Leyer und Schwan am nordöstlichen Himmel.

Bestimmung des Stundenwinkels eines Sternes für einen gegebenen Augenblick. 29 In vielen Fällen ist es wichtig, aus den Angaben der astronomischen Jahrbücher für jeden gegebenen Zeitpunkt den Stundenwinkel eines Sternes, d. h. den Winkel berechnen zu können, welchen der Declinationskreis des Sternes mit dem Meridian macht.

Es sei nun

a die Rectascension der Sonne zur Zeit ihrer Culmination an einem gegebenen Tage;

b die Rectascension eines gegebenen Sternes;

c die Zeitgleichung für den gegebenen Tag, so ist:

$a-b$ der Winkel, um welchen der Declinationskreis des Sternes im Moment der Sonnenculmination, und

$a-b-c$ der Winkel, um welchen derselbe zur Zeit des mittleren Mittags westlich vom Meridian liegt.

Um n Uhr, d. h. n Stunden mittlerer Sonnenzeit, oder $n\,\frac{366}{365}$ Stunden Sternzeit nach dem mittleren Mittag, ist der Stundenwinkel S des Sternes noch um $n\,\frac{366}{365}$ Stunden grösser, also

$$S = a-b-c + n\,\frac{366}{365}.$$

Man fragt z. B., welches ist zu Berlin am 7. März 1855 Abends 8 Uhr der Stundenwinkel von α leonis? Nach dem astronomischen Jahrbuche ist für diesen Fall

$$b = 10^h\ 0'\ 39'' \qquad c = 0^h\ 11'\ 20''$$
$$a = 23^h\ 9'\ 46'' \qquad n = 8^h$$

und danach ergiebt sich

$$S = 20^h\ 59'\ 6'',$$

d. h. in dem fraglichen Moment steht zu Berlin α leonis $20^h\ 59'\ 6''$ westlich, oder, was dasselbe ist, $3^h\ 0'\ 54''$ (in Bogentheilen ausgedrückt, $45^0\ 13'\ 30''$) östlich vom Meridian.

Wollte man also zu Berlin am 7. März 1855 das Fernrohr eines Aequatorealinstrumentes so richten, dass Abends 8 Uhr α leonis im Gesichtsfelde erscheint, so hätte man den Aequatoreal- oder Stundenkreis auf $314^0\ 46{,}5'$ zu stellen, vorausgesetzt, dass der Index dieses Kreises auf Null zeigt, wenn das Fernrohr sich in der Ebene des Meridians befindet, und die Theilung vom Meridian nach Westen gezählt wird. Den Declinationskreis des Instrumentes aber hätte man auf $12^0\ 40'\ 26''$ zu stellen, weil dies die nördliche Abweichung α leonis ist.

Die Berliner Ephemeriden geben die Rectascension der Sonne für den Moment, in welchem dieses Gestirn zu Berlin culminirt. An westlicher gelegenen Orten findet aber die Sonnenculmination später Statt; folglich muss für solche westlicher gelegene Orte die Rectascension der Sonne im Moment des wahren Mittags grösser sein, als ihn die Berliner Ephemeriden angeben. Wollte man also für irgend einen westlich von Berlin gelegenen Ort den Stundenwinkel eines Sternes für einen gegebenen Zeitpunkt berechnen, so dürfte man in den obigen Werth von S nicht den Werth von a setzen, wie ihn die Berliner Ephemeriden angeben, sondern man müsste an diesem Werthe noch eine Correction anbringen, welche von der geographischen Länge des Ortes abhängt.

In 24 Stunden nimmt die Rectascension der Sonne im Durchschnitt um $0{,}986^0$, in einer Stunde also um $\frac{0{,}986^0}{24}$ zu. Für jeden Ort, dessen wahrer Mittag eine Stunde später ist als Berlin, wird demnach die Rectascension der Sonne zur Zeit des wahren Mittags $\frac{0{,}986}{24}$ Grad grösser sein, als es die Berliner Ephemeriden angeben. Für 1 Längengrad beträgt dieser Unterschied der Rectascension 9,86 Bogensecunden oder 0,657 Zeitsecunden.

30 **Zeitbestimmung durch Culminationsbeobachtungen.** Eine Zeitbestimmung machen heisst eigentlich nichts weiter, als den Gang einer Uhr durch astronomische Beobachtungen zu controliren.

Für eine Uhr, welche genau nach mittlerer Sonnenzeit geht, haben wir

$$UZ - MZ = 0,$$

wenn man mit UZ die Uhrzeit, mit MZ die mittlere Zeit bezeichnet. Geht aber die Uhr um die Zeit t vor, so ist

$$UZ - MZ = t.$$

Ist ferner WZ die wahre Sonnenzeit und c die Zeitgleichung, also $MZ = WZ + c$, so haben wir

$$UZ - WZ - c = t \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Für den Moment der Sonnenculmination ist $WZ = 0$, also

$$UZ - c = t \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Ginge die Uhr vollkommen richtig, so müsste sich $t = 0$ ergeben. Ergiebt sich aber ein positiver Werth von t, so ist die Uhrzeit grösser als sie sein sollte, die Uhr geht also vor, während ein negativer Werth von t ein Nachgehen der Uhr andeutet.

Einige Beispiele mögen dies erläutern.

Am 14. März zeige die Uhr im Moment, in welchem der Mittelpunkt der Sonne den Meridian passirt, 11′ 18″ über 12 Uhr, so ist $UZ = 11' \, 18''$. Nach der Tabelle auf Seite 85 ist für den 14. März $c = 9' \, 30''$, folglich haben wir:

$$UZ - c = 11' \, 18'' - 9' \, 30'' = 1' \, 48'';$$

die Uhr geht also 1 Minute 48 Secunden vor.

Hätte am 5. August eine Uhr im Augenblicke der Sonnenculmination 3′ 40″ über 12 Uhr gezeigt, so hätten wir

$$UZ - c = 3' \, 40'' - 5' \, 46'' = - 2' \, 6'';$$

die Uhr geht 2 Minuten 6 Secunden zu spät.

Hätte man ferner die Sonnenculmination am 9. November beobachtet und gefunden, dass sie stattfand, als die Uhr $11^h \, 46' \, 22''$ Vormittags zeigte, so ist $UZ = -(13' \, 38'')$, weil man offenbar die Zeit vom Mittag rückwärts negativ zählen muss. Für den 9. November ist $c = -(16' \, 3'')$ (Tab. S. 85), also

$$UZ - c = -(13' \, 38'') + (16' \, 3'') = 2' \, 25'';$$

die Uhr geht also 2′ 25″ vor.

Die Culmination der Sonne kann man entweder an einem Gnomon oder genauer an einem im Meridian aufgestellten Fernrohr beobachten.

Die Sonne erlaubt keine so scharfe Beobachtung der Culminationszeit wie ein Stern, deshalb ist für eine genaue Zeitbestimmung die Sternbeobachtung der Sonnenbeobachtung vorzuziehen, nur ist die Berechnung für die Sternbeobachtung etwas umständlicher.

Auch für den Fall, dass man eine Zeitbestimmung mittelst einer Sternculmination machen will, benutzt man die Gleichung (1). UZ ist in diesem Falle die Zeit, welche die Uhr im Moment der Culmination des beobachteten Sternes zeigt, WZ ist der nach mittlerer Zeit gemessene Zeitraum, welcher zwischen der Culmination der Sonne und der Culmination des Sternes liegt.

Haben b und a dieselbe Bedeutung wie auf S. 87, so ist $(b - a)$ der Stundenwinkel, um welchen der Stern im Moment des wahren Mittags noch östlich vom Meridian absteht. $b - a$ Sternstunden oder

$(b - a)\,\frac{365}{366}$ mittlere Sonnenstunden nach dem wahren Mittag wird also der Stern culminiren, oder mit anderen Worten, zur Zeit der Sterncul- mination ist $WZ = (b - a)\,\frac{365}{366}$, also

$$UZ - (b - a)\,\frac{365}{366} - c = t \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Hat man z. B. am 23. April 1855 beobachtet, dass die Uhr $4^h\,40'\,10''$ in dem Augenblicke zeigt, in welchem Sirius culminirt, so hat man

$$\begin{aligned} UZ &= 4^h\,40'\,10'', \\ a &= 2 \quad 2 \quad 0 \quad \text{(Tabelle auf S. 78)}, \\ b &= 6 \quad 38 \quad 45 \quad \text{(S. 31)}, \\ c &= - \quad 1 \quad 40 \quad \text{(S. 85)}, \end{aligned}$$

und er ergiebt sich

$$t = 5'\,53'';$$

die Uhr geht also $5'\,53''$ vor.

31 **Zeitbestimmung durch correspondirende Höhen.** Die im vorigen Paragraphen besprochene Methode der Zeitbestimmung ist nur anwendbar, wenn der Meridian des Beobachtungsortes bestimmt ist.

Durch die Beobachtung correspondirender Höhen vor und nach der Culmination kann man aber die Uhrzeit der Culmination eines Gestirnes auch ermitteln, ohne dass der Meridian bestimmt ist.

Beobachtet man, dass ein Stern, auf der Ostseite des Himmels aufsteigend, die Höhe h in dem Augenblicke erreicht, in welchem die Uhr die Zeit T zeigt, dass er, auf der Westseite des Himmels niedergehend, dieselbe Höhe h wieder zur Uhrzeit T' passirt, so ist offenbar die Uhrzeit seiner Culmination das Mittel zwischen den beiden beobachteten Zeiten, also $\frac{T + T'}{2}$.

Hätte z. B. ein Stern die Höhe von $32^0\,17'$ im Aufsteigen um $6^h\,18'\,42''$ Uhrzeit, im Niedergehen aber zur Uhrzeit $10^h\,33'\,20''$ passirt, so wäre die Uhrzeit der Culmination dieses Sternes $8^h\,26'\,1''$.

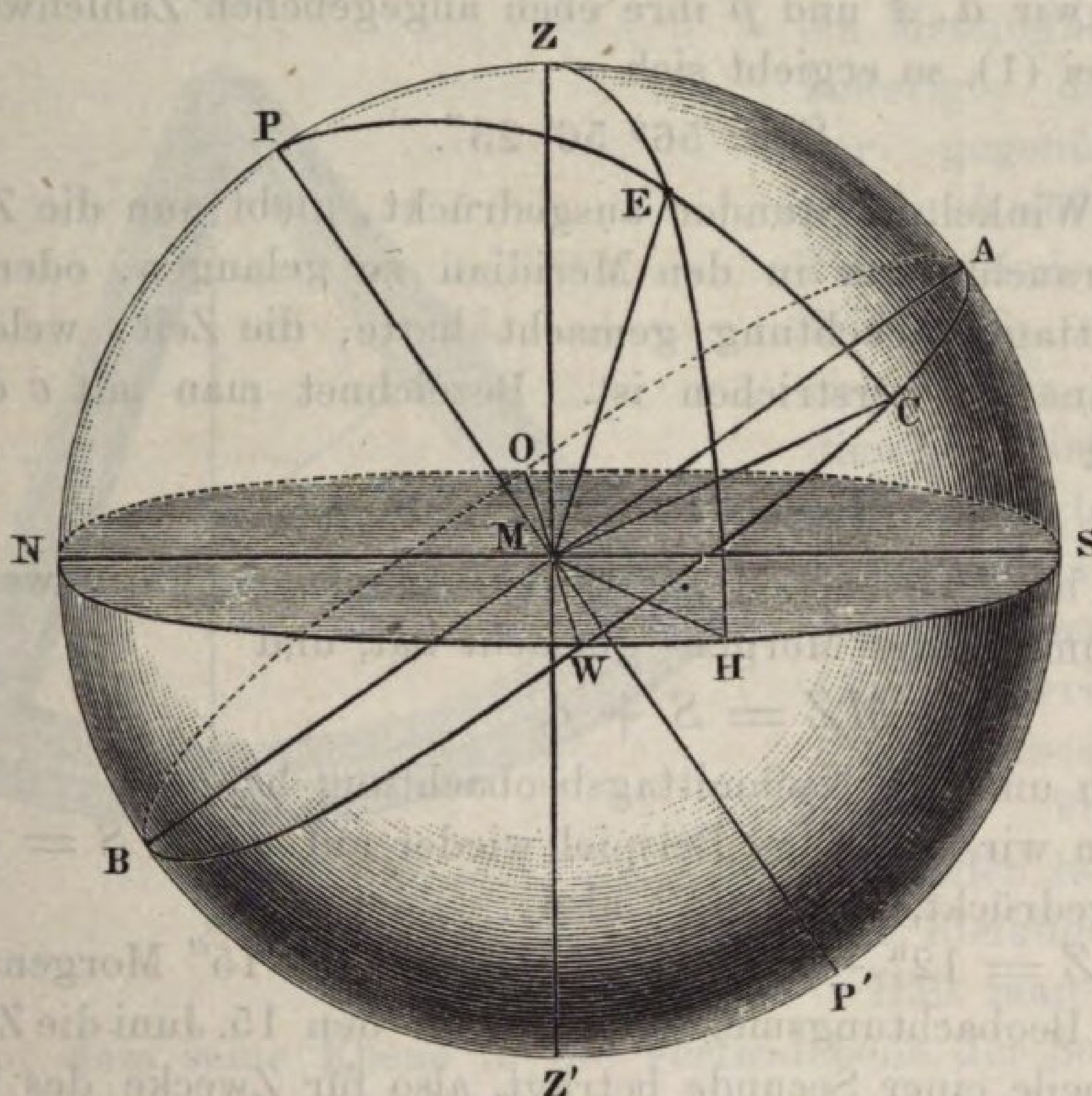
Wenn man diese Beobachtungsmethode anwenden will, um die Uhrzeit einer Sonnenculmination zu ermitteln, so muss man die Veränderung der Declination der Sonne, welche zwischen den beiden Beobachtungen stattfindet, in Rechnung bringen.

32 **Zeitbestimmung durch einfache Sonnenhöhen.** Da ein jedes Gestirn in Folge seiner täglichen Bewegung seine Höhe stetig ändert, und da es eine gewisse Höhe immer zu einer bestimmten Zeit passirt, so muss auch eine einzige Höhenmessung hinreichen, um eine Zeitbestimmung zu machen.

Zunächst kommt es darauf an, aus der beobachteten Höhe eines Gestirnes seinen Stundenwinkel S, d. h. den Winkel zu berechnen, wel-

chen der Declinationskreis PC, Fig. 57, des Gestirnes E mit dem Meridian PZA macht.

Fig. 57.



Ausser der beobachteten Höhe HE muss zur Lösung dieser Aufgabe noch die Declination CE des Gestirnes und die Aequatorhöhe SA des Beobachtungsortes bekannt sein.

Der gesuchte Stundenwinkel CA, den wir mit S bezeichnen wollen, ist der Winkel, den die Ebenen PCM und PAM mit einander machen. Dieser Winkel ist aber offenbar auch ein Winkel des sphärischen Dreiecks PZE und zwar derjenige, welchen die Seiten PZ und PE dieses Dreiecks mit einander machen. In diesem Dreieck sind aber alle drei Seiten bekannt; es ist nämlich

$PZ = SA$, gleich der Aequatorhöhe des Beobachtungsortes, die wir mit a bezeichnen wollen;

$PE = p$, die Poldistanz des beobachteten Gestirnes E, sie ist offenbar $= 90^0 - CE$, gleich 90^0 weniger der bekannten Declination des Gestirnes;

$ZE = z$, die Zenithdistanz des Gestirnes, welche $90^0 - HE$, d. h. 90^0 weniger der beobachteten Höhe ist.

Daraus ergiebt sich nun (Sphärische Trigonometrie, S. 12, Gleichung 12):

$$(sin.\ {}^1/_2\ S)^2 = \frac{sin.\ {}^1/_2\ (z + a - p)\ sin.\ {}^1/_2\ (z + p - a)}{sin.\ a\ .\ sin.\ p} \quad . \quad (1)$$

Nehmen wir z. B. an, man habe zu Freiburg ($a = 42^0$) am 15. Juni Vormittags die Sonnenhöhe 39^0 beobachtet, so haben wir

$$z = 90 - 39 = 51^0$$

$$p = 90 - (23^0\ 18'\ 41'') = 66^0\ 41'\ 19'',$$

da am 15. Juni die Declination der Sonne $23^0\ 18'\ 41''$ ist.

Setzen wir a, z und p ihre eben angegebenen Zahlenwerthe in die Gleichung bei (1), so ergiebt sich

$$S = 56^0\ 56'\ 23''.$$

Dieser Winkel, in Stunden ausgedrückt, giebt nun die Zeit, welche die Sonne braucht, um in den Meridian zu gelangen, oder wenn man eine Nachmittagsbeobachtung gemacht hatte, die Zeit, welche seit der Sonnenculmination verstrichen ist. Bezeichnet man mit c die Zeitgleichung, so ist

$$MZ = 12 - S - c$$

die mittlere bürgerliche Zeit des Beobachtungsmomentes, wenn man die Höhenbestimmung des Morgens gemacht hat, und

$$MZ = S + c,$$

wenn es sich um eine Nachmittagsbeobachtung handelt.

Nehmen wir das obige Beispiel wieder auf, so ist $S = 56^0\ 56'\ 23''$, in Zeit ausgedrückt, $3^h\ 47'\ 45''$, also

$$MZ = 12^h - (3^h\ 47'\ 45'') = 8^h\ 12'\ 15'' \text{ Morgens}$$

die Zeit des Beobachtungsmomentes, da für den 15. Juni die Zeitgleichung nur Bruchtheile einer Secunde beträgt, also für Zwecke des bürgerlichen Lebens vernachlässigt werden kann.

Gehen wir zu einem anderen Beispiele über. Am 4. März 1855 fand man zu Freiburg die Höhe der Sonne in dem Augenblicke, in welchem die Uhr Nachmittags $1^h\ 58'\ 36''$ zeigte, die Höhe des Sonnenmittelpunktes gleich 30^0; wir haben also

$$z = 90^0 - 30^0 = 60^0,$$

$$p = 90^0 + (6^0\ 32'\ 55'') = 96^0\ 32'\ 55'',$$

da am genannten Tage die Declination der Sonne $-\ (6^0\ 32'\ 55'')$ beträgt, und

$$a = 42^0.$$

Aus diesen Daten ergiebt sich

$$S = 28^0\ 26' = 1^h\ 52'.$$

Da nun für den fraglichen Tag $c = 12'\ 2''$, so ist die mittlere Zeit des Beobachtungsmomentes

$$MZ = 2^h\ 4'\ 2''.$$

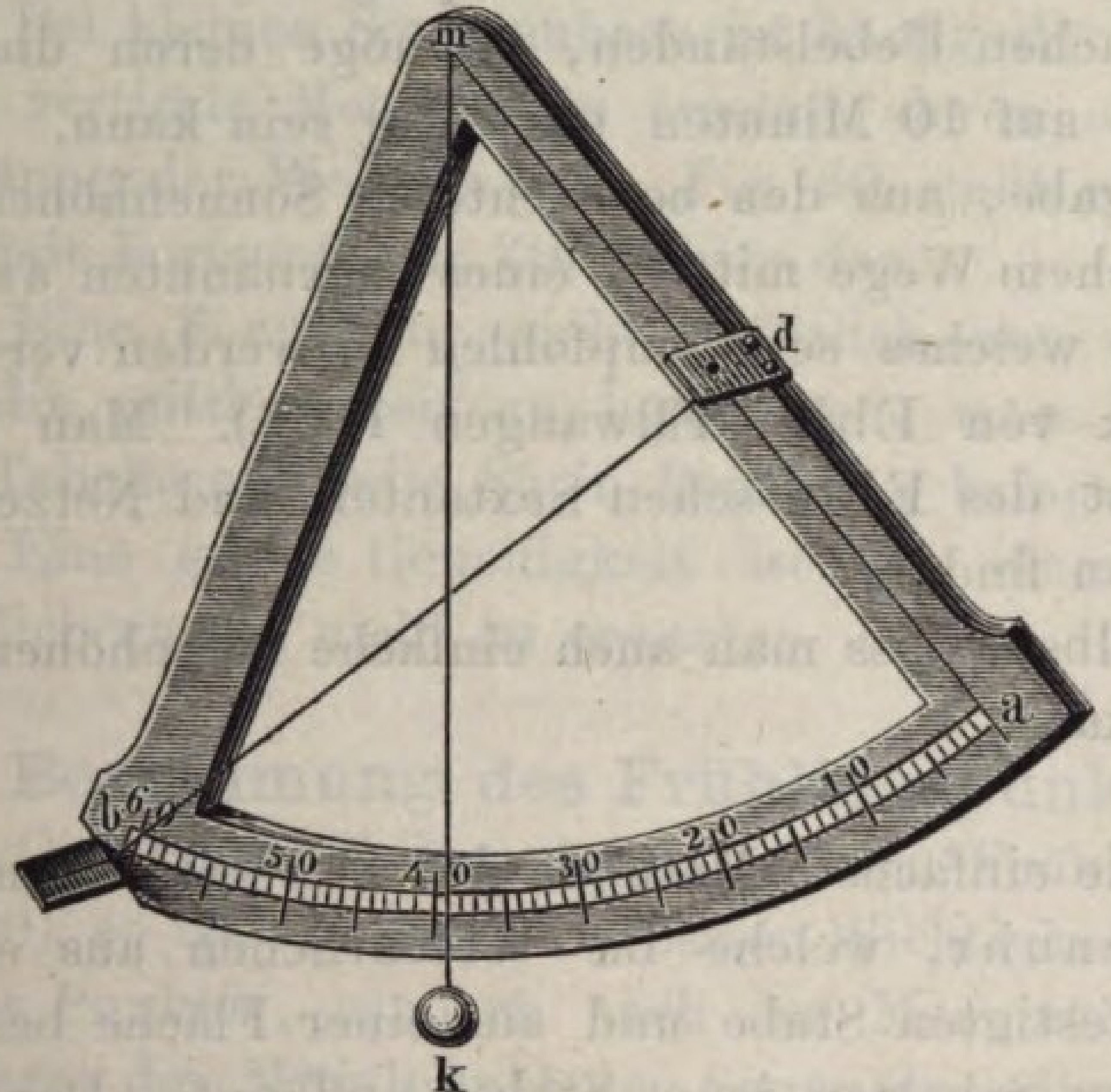
Da aber die Uhr $1^h\ 58'\ 36''$ zeigte, so ergiebt sich, dass diese Uhr um $5'\ 26''$ nachging.

Um Sonnenhöhen so genau zu messen, als es zur Bestimmung der Zeit für das bürgerliche Leben erforderlich ist, genügen einfachere Instrumente als die, welche wir früher kennen lernten; gewöhnlich wendet man in diesem Falle den Sextanten an.

Fig. 58 zeigt einen Sextanten der einfachsten Art. Er besteht im Wesentlichen aus einem getheilten Sechstelkreis (daher der Name), wel-

cher mit zwei Radien ein Dreieck bildet. *m* ist der Mittelpunkt des getheilten Bogens. An dem Schenkel *ma*, welcher dem Nullpunkt der Theilung entspricht, ist ein Messingblättchen *d* so befestigt, dass ein von der gegenüberstehenden Spitze *b* auf *ma* gefälltes Perpendikel gerade die Mittellinie dieses Blättchens trifft. Parallel mit diesem ist bei *b* ein zweites Messingblättchen angebracht. In der Mitte des Blättchens *b* ist eine Linie eingeritzt, während *d* ein kleines rundes Loch enthält. Von *m* hängt ein Faden herab, welcher eine Bleikugel *k* trägt.

Fig. 58.



Hält man nun das Instrument so, dass seine Ebene in die Verticalebene der Sonne und der Schatten von *d* gerade auf *b* fällt (was man daran erkennt, dass die Sonnenstrahlen, welche durch die kleine Oeffnung in *d* fallen, einen hellen Fleck auf der Mittellinie von *d* bilden), so kann man auf dem getheilten Kreise die Höhe der Sonne ablesen. Es ist nämlich *bd* die Richtung der Sonnenstrahlen. Der Winkel aber, welchen *bd* mit der Horizontalen macht, ist gleich dem Winkel *amk*, da *am* auf *bd* und *mk* auf der Horizontalen rechtwinklig steht; der Bogen von *a* bis zum Bleiloth misst also die Sonnenhöhe.

Da es schwierig ist, den Sextanten in freier Hand sicher genug zu halten, so wird er in der Regel mit einem passenden Stativ versehen, welches eine feste Aufstellung erlaubt.

Solche Sextanten von 6 bis 8 Zoll Radius sind in der Regel von Holz mit aufgeklebter Papierscala.

Eine sehr zweckmässige Einrichtung hat neuerdings Eble dem Sextanten gegeben. Bei einem Halbmesser von 13 Zoll ist der Bogen unmittelbar in $^1/_2$ Grade eingetheilt.

Die gemessenen Sonnenhöhen bedürfen noch, bevor man sie in die Rechnung einführen kann, einer Correction wegen der atmosphärischen Strahlenbrechung, welche wir erst im zweiten Buche werden kennen lernen. Die Theilung des Eble'schen Sextanten ist so eingerichtet, dass man unmittelbar die corrigirte Höhe ablesen kann.

Aus den beobachteten Sonnenhöhen den Stundenwinkel zu berechnen, ist immerhin eine etwas langwierige und für Manchen auch schwierige Arbeit. Deshalb hat bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts

Fr. Chr. Müller Tafeln berechnet, in welchen man für Orte vom 47. bis 54. Breitegrade für die von Grad zu Grad fortschreitenden Sonnenhöhen die entsprechende Zeit aufschlagen kann.

Müller's Sonnentafeln, welche zuerst zu Leipzig im Jahre 1791 erschienen, leiden an mehrfachen Uebelständen, vermöge deren die aus ihnen entnommene Zeit bis auf 10 Minuten unrichtig sein kann. Sehr sinnreich hat Eble die Aufgabe, aus den beobachteten Sonnenhöhen die Zeit abzuleiten, auf graphischem Wege mittelst eines sogenannten astronomischen Netzes gelöst, welches sehr empfohlen zu werden verdient (Neues Zeitbestimmungswerk von Eble, Ellwangen 1853). Man kann nach dieser Methode mittelst des Eble'schen Sextanten und Netzes die Zeit bis auf $^1/_2$ Minute genau finden.

Es versteht sich von selbst, dass man auch einfache Sternhöhen zur Zeitbestimmung anwenden kann.

33 **Die Sonnenuhr.** Die einfachste Methode der Zeitbestimmung ist wohl die mittelst der Sonnenuhr, welche im Wesentlichen aus einem parallel mit der Weltaxe befestigten Stabe und aus einer Fläche besteht, welche bei Sonnenschein den Schatten jenes Stabes auffängt. Der Stab bildet die Axe, um welche sich die Schattenebene mit derselben Geschwindigkeit umdreht, mit welcher die Sonne am Himmel fortschreitet, d. h. sie dreht sich in jeder Stunde um 15 Grad. Zu gleichen Tageszeiten, d. h. gleich viel Stunden vor oder gleich viel Stunden nach der Culmination der Sonne, wird also die Schattenebene stets dieselbe Lage haben, und aus der Lage der Schattenebene, also auch aus der Lage des Stabschattens auf einer gegen den Stab unveränderlich festen Ebene kann man auf die Zeit schliessen.

Fig. 59.

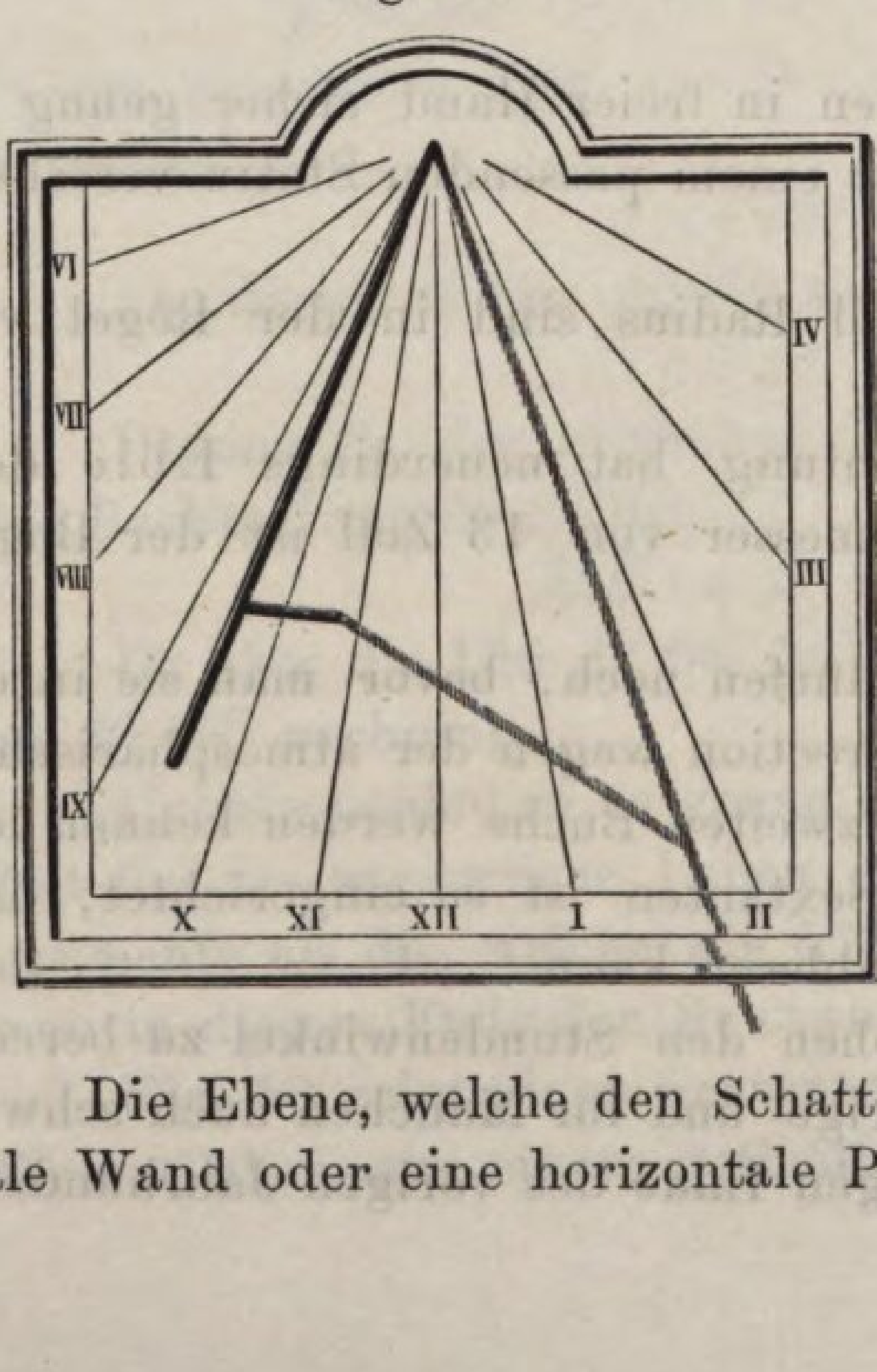
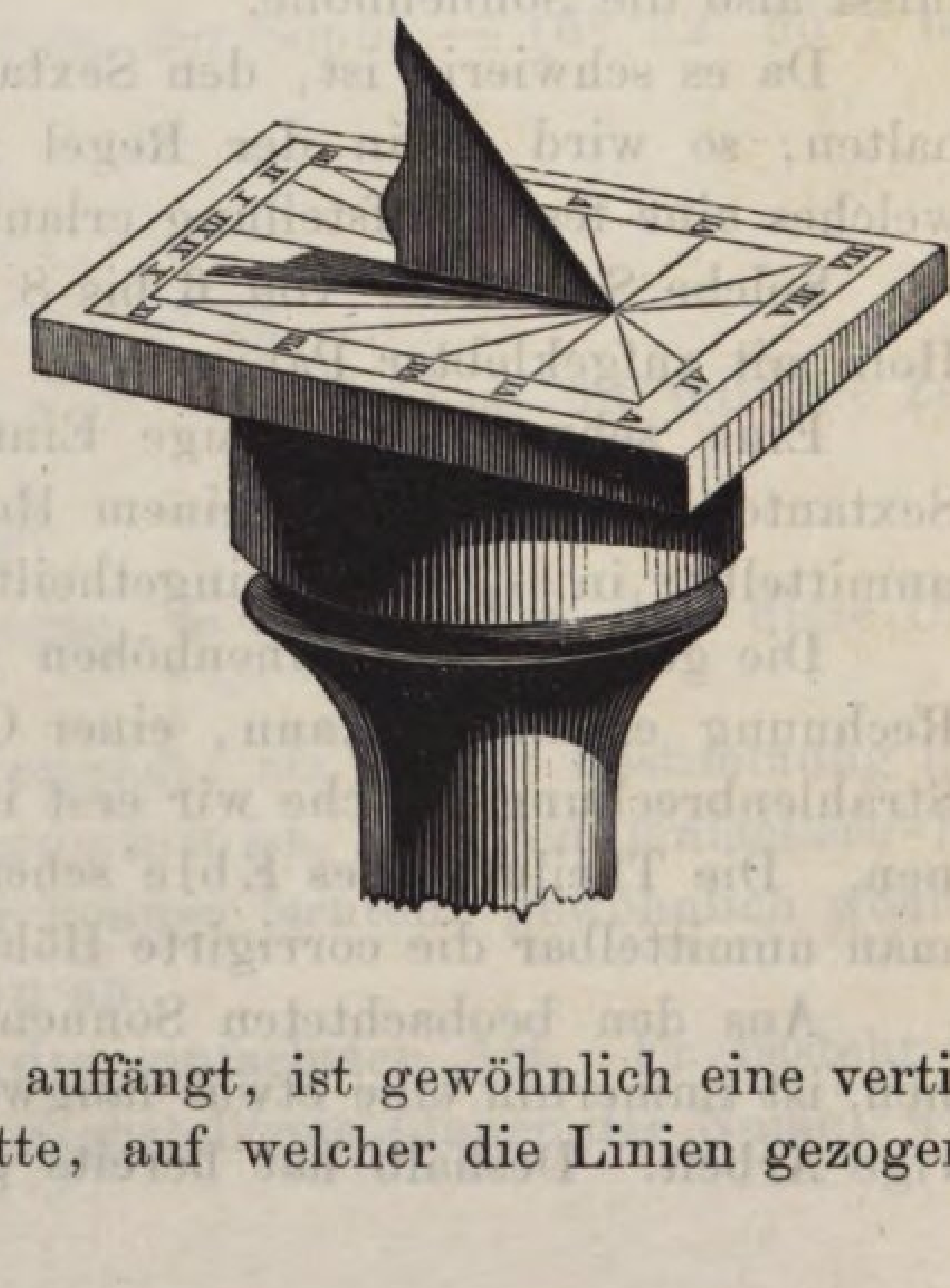


Fig. 60.



Die Ebene, welche den Schatten auffängt, ist gewöhnlich eine verticale Wand oder eine horizontale Platte, auf welcher die Linien gezogen

sind, auf welche der Stabschatten 1, 2, 3 u. s. w. Stunden vor, und 1, 2, 3 u. s. w. Stunden nach dem wahren Mittag fallen muss.

Fig. 59 stellt eine Sonnenuhr mit verticaler schattenauffangender Wand (mit verticalem Zifferblatte) dar.

Bei kleinen Sonnenuhren ist häufig der schattengebende Stab durch eine verticale Metallplatte ersetzt, deren oberer gradliniger Rand die Richtung der Weltaxe hat. Fig. 60 stellt eine derartige kleine Sonnenuhr mit horizontalem Zifferblatte dar.

Eine Sonnenuhr giebt natürlich nur wahre Sonnenzeit; um nach ihr die mittlere Zeit zu bestimmen, muss man die Zeitgleichung nach der Tabelle auf Seite 85 in Rechnung bringen.

Eine grosse Genauigkeit ist von einer derartigen Sonnenuhr begreiflicherweise nicht zu erwarten.

Bestimmung des Frühlingspunktes. Da die Rectascension 34
aller Gestirne auf dem Aequator vom Frühlingspunkte an gezählt wird (S. 30), so ist es von der grössten Wichtigkeit, dass nicht allein die Lage dieses Punktes, sondern auch der Moment genau bestimmt werde, in welchem der Mittelpunkt der Sonne denselben passirt.

Um den Zeitpunkt zu erhalten, in welchem die Sonne durch den Frühlingspunkt geht, bedarf es nichts weiter, als dass man an den Mittagen vor und nach diesem Durchgang die Höhe der Sonne im Meridian mit möglichster Genauigkeit misst.

Man hat z. B. zu Wien, für welchen Ort die Aequatorhöhe $41^0 47' 24''$ beträgt, im Jahre 1830 die Höhe des Sonnenmittelpunktes zur Zeit des wahren Mittags gefunden:

am 20. März $41^0\ 32'\ 13''$
am 21. März $41\ \ 55\ \ 54$.

Daraus folgt, dass der Durchgang der Sonne durch den Aequator in der Zeit zwischen dem Mittage des 20. und des 21. März erfolgt ist.

In dieser Zwischenzeit von 24 Stunden hat die Höhe der Sonne um

$$23'\ 41''$$

zugenommen. Zur Zeit des wahren Mittags am 20. März war die Höhe der Sonne noch um $15'\ 11''$ geringer als die Aequatorhöhe von Wien oder mit anderen Worten, die südliche Declination der Sonne betrug $15'\ 11''$.

Da man nun weiss, dass am genannten Tage die Declination der Sonne in 24 Stunden um $23'\ 41''$ zunimmt, und man ohne merklichen Fehler in der Zwischenzeit die Zunahme der Declination als gleichförmig annehmen kann, so hat man zur Berechnung des Zeitpunktes, in welchem der Mittelpunkt der Sonne den Aequator erreicht, die Proportion

$$23'\ 41'' : 24^h = 15'\ 11'' : x^h,$$

woraus folgt $x = 15{,}386$ Stunden oder $15^h\ 23'\ 10''$, d. h. der Durchgang des Sonnenmittelpunktes durch den Frühlingspunkt fand also im Jahre 1830 $15^h\ 23'\ 10''$ nach dem wahren Mittag des 20. März Statt.

Um aber auch genau den Ort des Frühlingspunktes zu bestim-

Bayerische Staatsbibliothek München

men, hat man an den genannten Tagen auch noch die Zeit der Culmination der Sonne und irgend eines Fixsternes zu beobachten. Man hat z. B. 1830 zu Wien beobachtet

	Culmination der Sonne	Culmination α arietis
am 20. März	0^h	$1^h\ 59'\ 59''$
am 21. März	0	$1^h\ 56'\ 21''$

so ist klar, dass die Rectascension der Sonne vom wahren Mittag des 20. März bis zum wahren Mittag des 21. März, also in 24 Stunden, um $3'\ 38''$ gewachsen ist. Um zu finden, wie viel sie in $15^h\ 23'\ 10''$ zunimmt, haben wir also die Gleichung

$$24^h : 0^h\ 3'\ 38'' = 15^h\ 23'\ 10'' : x,$$

woraus $x = 0^h\ 2'\ 19''$.

Zur Zeit des wahren Mittags am 20. März war die Rectascensionsdifferenz zwischen Sonne und α arietis $1^h\ 59'\ 59''$. Zur Zeit, in welcher die Sonne den Frühlingspunkt erreichte, war diese Differenz um $2'\ 19''$ kleiner, sie war also

$$1^h\ 57'\ 40''.$$

Dies ist nun die Rectascension von α arietis im Jahre 1830, wodurch dann die Lage des Frühlingspunktes für diese Zeit, d. h. der Winkel genau bestimmt ist, welchen der Aequinoctialcolur mit dem Declinationskreise des Sternes α arietis macht.

Man bezeichnet mit dem Namen des tropischen Jahres die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt. Die Dauer des tropischen Jahres beträgt

365,24224 Tage

oder

365 Tage $5^h\ 48'\ 51''$,

was etwas weniger als $365\,^1/_4$ Tag ist.

35 **Der Kalender.** Das bürgerliche Jahr muss natürlich stets aus einer ganzen Anzahl von Tagen bestehen. Dadurch entsteht aber ein Unterschied zwischen dem bürgerlichen und dem tropischen Jahre, welcher jedoch durch besondere Bestimmungen der Kalenderrechnung, die wir sogleich näher betrachten wollen, wieder ausgeglichen werden kann.

Das Jahr der alten Aegyptier betrug stets 365 Tage, sie nahmen also das Jahr stets $^1/_4$ Tag zu kurz an, und dieser Fehler musste sich im Laufe der Zeit so anhäufen, dass derselbe Kalendertag allmälig durch alle Jahreszeiten hindurchlief. Fiel z. B. zu einer bestimmten Zeit der 21. März mit dem Frühlingsäquinoctium zusammen, so musste nach ungefähr 365 Jahren der 21. März in die Zeit des Wintersolstitiums fallen.

Um diesem Uebelstande abzuhelfen, verordnete Julius Cäsar im Jahre 45 v. Chr. eine Reform des Kalenders, welche darin bestand, dass das gemeine Jahr zu 365 Tagen gerechnet, dass aber alle 4 Jahre ein

Tag eingeschaltet werden sollte, so dass das 4te Jahr stets 366 Tage hatte. Diese Jahre von 366 Tagen werden Schaltjahre genannt. Während der Februar eines gemeinen Jahres nur 28 Tage hat, so hat derselbe Monat in einem Schaltjahre 29 Tage.

Die Jahresdauer, wie sie Julius Cäsar angenommen hatte, nämlich $365^1/_4$ Tag, war noch nicht genau, sie war noch um 0,00776 Tage zu gross und daraus ergiebt sich ein Fehler von 0,776 Tagen in 100 Jahren, also nahe 3 Tagen in 400 Jahren. Der julianische Kalender hat also in 400 Jahren ungefähr 3 Tage zu viel.

Durch das Concilium von Nicäa wurde die Bestimmung getroffen, dass das Osterfest stets am ersten Sonntag gefeiert werden sollte, welcher dem ersten Vollmond nach dem Frühlingsäquinoctium folgt. — Zur Zeit dieses Conciliums, im Jahre 325, fiel die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche auf den 21. März. — Man fuhr nun fort, nach dem julianischen Kalender zu zählen bis 1582, zu welcher Zeit dann die Zeit des Frühlingsäquinoctiums schon merklich verrückt war; es fand nämlich nicht mehr am 21. März Statt, wie im Jahre 325, sondern es fiel auf den 11. März.

Vom Jahre 325 bis 1582 waren 1257 Jahre verflossen. Da der Fehler des julianischen Kalenders 0,00776 Tage im Jahre beträgt, so war er also im Laufe dieser 1257 Jahre auf 9,7, also fast auf 10 Tage gewachsen. Man hatte in der Zwischenzeit 10 Schalttage zu viel eingeschaltet und war dadurch um 10 Tage im Kalender zurückgekommen. Deshalb verordnete Gregor XIII., dass auf den 4. October 1582 gleich der 15. October folgen sollte, um so den seit dem Concilium von Nicäa angewachsenen Fehler auszugleichen.

Damit aber dieser Fehler für die Zukunft vermieden werde, wurde verordnet, dass auf je 400 Jahre 3 Schalttage ausfallen sollten, was durch die Bestimmung erreicht wird, dass das erste Jahr eines jeden Jahrhunderts, welches nach dem julianischen Kalender ein Schaltjahr ist, nur 365 Tage haben sollte, wenn die Jahreszahl nicht durch 400 theilbar ist. So bleiben also die Jahre 1600 und 2000 Schaltjahre, die Jahre 1700, 1800, 1900 aber, sowie 2100, 2200, 2300 sind es nicht.

Der gregorianische Kalender wurde alsbald unter allen Völkern eingeführt, welche der römischen Kirche angehören; und bald wurde er auch von den Protestanten angenommen. Die Griechen und Russen haben noch bis auf den heutigen Tag den julianischen Kalender beibehalten, so dass ihre Zeitrechnung gegenwärtig um 12 Tage gegen die unserige zurück ist. Der 1. Januar des russischen Kalenders ist der 13. Januar des unserigen. Der 20. Mai alten Stils ist der 1. Juni neuen Stils.

Rückgang der Aequinoctialpunkte. Wir haben bisher den 36
Frühlingspunkt als einen festen Punkt des Himmels betrachtet, was er aber in der That nicht ist. Verfolgt man den Lauf der Sonne längere

Bayerische Staatsbibliothek München

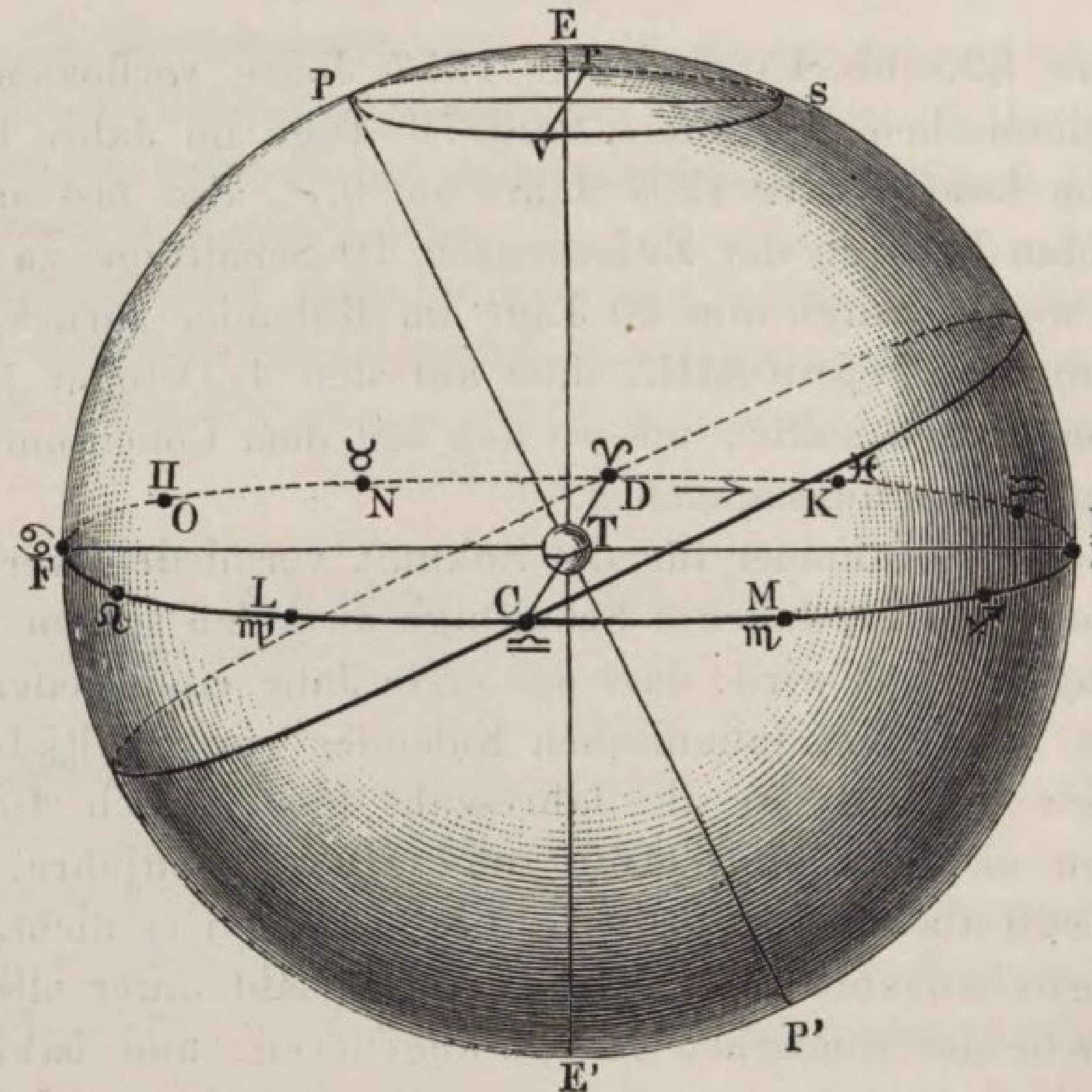
Zeit, so ergiebt sich zwar, dass der Weg, welchen sie unter den Gestirnen beschreibt, im Wesentlichen ungeändert bleibt, dass aber die Punkte, in welchen die Ekliptik von dem Himmelsäquator durchschnitten wird, langsam von Osten nach Westen fortrücken, also der Bewegung der Sonne entgegen.

Im Laufe eines Jahrhunderts beträgt dieser Rückgang der Tag- und Nachtgleichen $1^0\ 23'\ 30''$, in einem Jahre also $50''$.

Da also der Frühlingspunkt stets von Osten nach Westen fortschreitet, so ist klar, dass die Länge der Gestirne fortwährend wächst. Hipparch fand z. B. im Jahre 130 v. Chr. die Länge von α virginis (Spica) gleich 174^0, während sie gegenwärtig $201{,}5^0$ ist. Dabei bleibt die Breite der Gestirne nahezu unverändert, weil die Ebene der Ekliptik ihre Lage nicht ändert.

Fig. 61 stellt die gegenseitige Lage der Ekliptik und des Himmelsäquators dar. Beide Ebenen schneiden sich in der Linie *CD*; *C* ist der

Fig. 61.



Herbstpunkt, *D* ist der Frühlingspunkt. Nach dem oben Gesagten muss diese Linie allmälig ihre Lage ändern; der Frühlingspunkt rückt von *D* gegen *K*, der Herbstpunkt von *C* gegen *L* fort; es ist also klar, dass der Frühlingspunkt im Laufe von Jahrtausenden von einem Sternbild zum anderen wandern wird. Wenn der mit 0♈ bezeichnete Frühlingspunkt sich gegenwärtig in *D* befindet, so wird er in 2333 Jahren um 30^0 nach Westen gewandert sein, 0♈ wird alsdann an derselben Stelle des Himmels stehen, welche jetzt mit 0♓ bezeichnet ist, also in *K*.

Bayerische Staatsbibliothek München

Es ist bereits oben S. 79 und 82 bemerkt worden, dass gegenwärtig der Frühlingspunkt ungefähr am westlichen Ende des Sternbildes der Fische liegt, vor 2300 Jahren lag also der Frühlingspunkt noch am westlichen Ende des Sternbildes des Widders, also an dem Punkt *N*, Fig. 61, den wir jetzt mit 0 ♉ bezeichnen. Damals fiel also das Zeichen des Widders mit dem Sternbild des Widders zusammen, die Sonne passirte den Frühlingspunkt mit dem Eintritt in das Sternbild des Widders. Aus dieser Zeit rührt wahrscheinlich die Eintheilung der Ekliptik in die 12 Zeichen des Thierkreises. Allmälig ging nun die Uebereinstimmung zwischen den Zeichen und den gleichnamigen Sternbildern verloren, weil der Frühlingspunkt auf das folgende Sternbild fortrückte, während man ihn doch stets als den Nullpunkt des ersten Zeichens im Thierkreis (0 ♈) beibehielt.

Da die Ebene der Sonnenbahn (gewisse Schwankungen abgerechnet, von denen alsbald die Rede sein wird) ungeändert bleibt, so lässt sich der Rückgang der Aequinoctialpunkte nur durch die Annahme erklären, dass die Ebene des Himmelsäquators allmälig ihre Stellung ändert. Die Lage des Himmelsäquators ist aber durch die Richtung der Erdaxe bedingt, auf welcher derselbe rechtwinklig steht. In Fig. 61 seien E und E' die Pole der Ekliptik, PP' die Weltaxe, also die verlängerte Erdaxe. Wenn sich nun die Ebene des Himmelsäquators so drehen soll, dass ihre Durchschnittslinie mit der Ebene der Ekliptik sich aus der Lage CD gegen LK hin dreht, so muss auch die Weltaxe eine Drehung erleiden, und zwar wird die Weltaxe PP' bei ihrer Umdrehung um die Axe EE' eine Kegelfläche beschreiben.

Daraus folgt nun auch weiter, dass die Himmelspole keine absolut unveränderlichen Punkte sind. Der Nordpol des Himmels wandert nach und nach durch die ganze Peripherie des Kreises $PrSV$; um aber diesen Kreis vollständig zu durchlaufen, ist eine Zeit von ungefähr 26 000 Jahren nöthig.

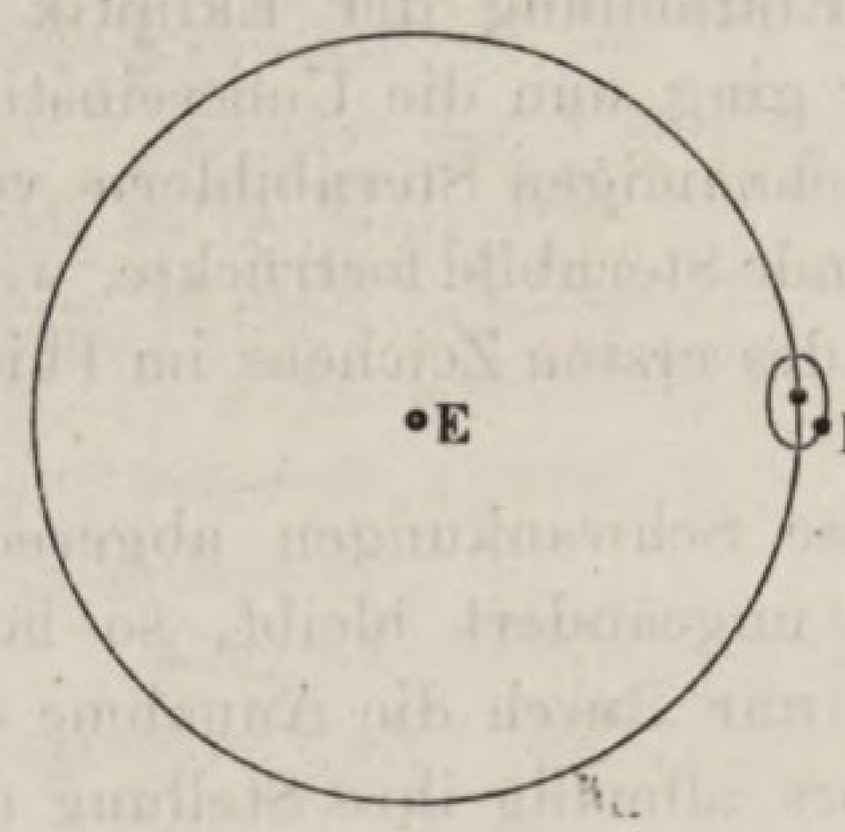
In der Sternkarte Tab. III. ist der Kreis gezogen, welchen der Nordpol des Himmels um den Pol der Ekliptik beschreibt. Der Stern α des kleinen Bären, welcher jetzt ungefähr $1^1/_2$ Grad von dem Nordpol des Himmels absteht, war zur Zeit Hipparch's noch fast 12 Grad von demselben entfernt, konnte damals also noch nicht als Polarstern bezeichnet werden. Der Nordpol des Himmels nähert sich diesem Sterne noch bis zum Jahre 2095, wo er nur noch 26 Minuten von ihm abstehen wird. Darauf entfernt sich der Nordpol des Himmels wieder von α ursae minoris, um in das Sternbild des Cepheus überzugehen. Nach 12 000 Jahren wird α lyrae dem Nordpol nahe stehen.

Der in diesem Paragraphen besprochene Rückgang der Nachtgleichen wird auch mit dem Namen der Präcession bezeichnet.

Nutation. Der Rückgang der Aequinoctialpunkte ist nicht ganz gleichförmig, sondern er zeigt Schwankungen, deren Periode ungefähr 37

$18^1/_2$ Jahre beträgt. Ebenso ist auch der Winkel, welchen die Erdaxe mit der Axe der Ekliptik macht, nicht ganz constant, sondern er erleidet kleine Variationen, welche an dieselbe Periode gebunden sind, indem sich die Erdaxe der Axe der Ekliptik abwechselnd etwas nähert und sich dann wieder von ihr entfernt. Dieses Wanken der Erdaxe bezeichnet man mit dem Namen der Nutation.

Fig. 62.

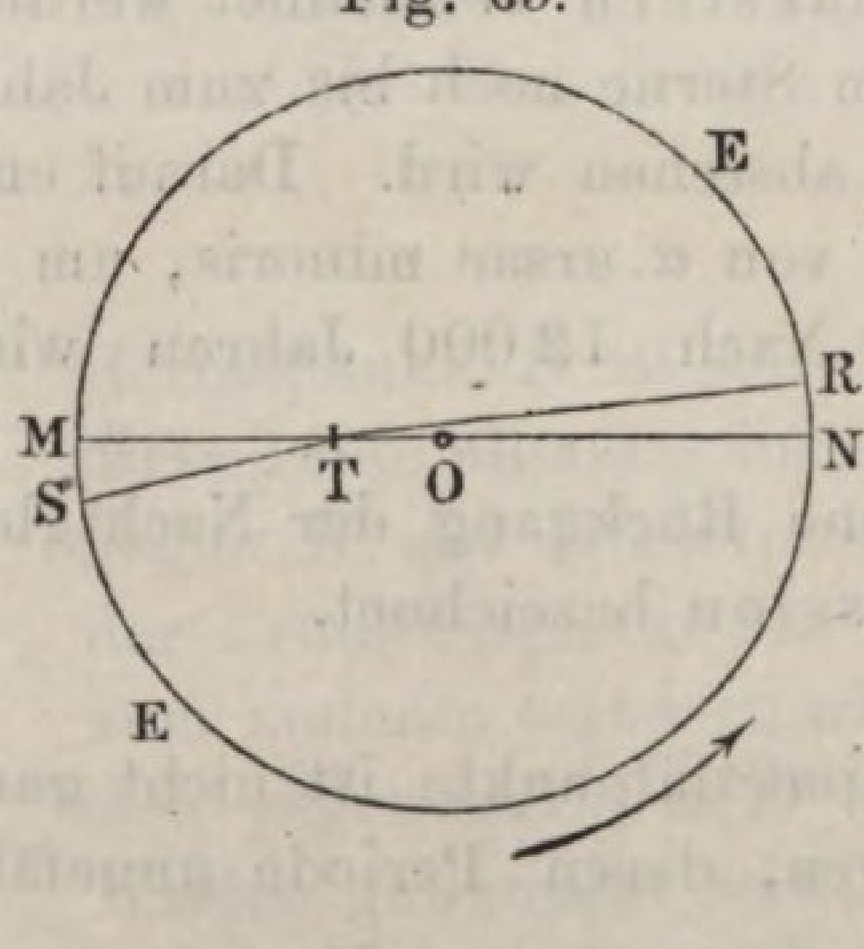


Der Nordpol des Himmels beschreibt also nicht, wie es in dem vorigen Paragraphen angenommen wurde, einen reinen Kreis um den Pol der Ekliptik, sondern eine wellenförmige Curve. Eine solche Bewegung erklärt sich, wenn man annimmt, der Pol P, Fig. 62, bewege sich auf einer kleinen Ellipse, deren Mittelpunkt sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit um den Pol E der Ekliptik bewegt. Die grosse Axe dieser kleinen Ellipse beträgt 9,6″, die kleine 8″.

38 **Erklärung der scheinbaren Bewegung der Sonne.** Am einfachsten scheint sich auf den ersten Anblick die scheinbare Bewegung der Sonne dadurch erklären zu lassen, dass man annimmt, die Sonne beschreibe wirklich um die feststehende Erde im Laufe eines Jahres einen Kreis, dessen Ebene einen Winkel von 23⁰ 28′ mit der Ebene des Himmelsäquators macht. In der That war dies auch die im Alterthum herrschende Ansicht. Um aber zu erklären, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Sonne in der Ekliptik fortschreitet, bald langsamer, bald schneller ist, und da man doch die Hypothese nicht aufgeben wollte, dass die Sonne ihre kreisförmige Bahn mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchliefe, nahm Hipparch an, dass sich die Erde nicht im Mittelpunkte der Sonnenbahn befinde.

Wenn die Sonne mit gleichförmiger Geschwindigkeit den Kreis EE, Fig. 63, durchläuft, die Erde sich aber in T ausserhalb des Kreismittelpunktes befindet, so wird die Bewegung der Sonne, von der Erde aus

Fig. 63.



gesehen, nicht mehr gleichförmig erscheinen; denn wenn auch die gleichen Bogen NR und MS von der Sonne in gleichen Zeiten durchlaufen werden, so sind doch die Winkel, unter welchen diese Bogen, von T aus gesehen, erscheinen, nicht gleich, sondern sie verhalten sich umgekehrt wie die Entfernungen NT und MT; die scheinbare Geschwindigkeit der Sonne ist kleiner, wenn sie sich bei N, als wenn sie sich bei M befindet.

Denken wir uns durch den Mittelpunkt O des Kreises EE und die Erde T eine gerade Linie gezogen, welche den Kreis in den Punkten M und N schneidet, so befindet sich die Sonne bei M in der kleinsten, bei N in der grössten Entfernung von der Erde, der Punkt M wird deshalb das Perigäum (Erdnähe), N aber das Apogäum (Erdferne) genannt. Die Sonne passirt das Perigäum zu Ende December, das Apogäum zu Ende Juni.

Die gerade Linie $MTON$, welche die Erde mit dem Mittelpunkte der Sonnenbahn verbindet, wird die Absidenlinie genannt.

Unter der Voraussetzung, dass sich die Sonne mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihrer Bahn fortbewegt, kann nun das Verhältniss der Excentricität OT zum Halbmesser OM leicht aus der Vergleichung des grössten und kleinsten Winkels abgeleitet werden, um welchen die Länge der Sonne in 24 Stunden zunimmt. Diese Winkel sind aber $1^0\ 1'\ 10{,}1''$ oder $3670{,}1''$ und $57'\ 11{,}5''$ oder $3431{,}5''$ (S. 81); wir haben also

$$TM : TN = 3431{,}5 : 3670{,}1,$$

woraus sich die Excentricität OT ungefähr gleich $^1/_{30}$ vom Halbmesser der Sonnenbahn ergeben würde.

Die Hypothese von der gleichförmigen Geschwindigkeit der Sonne musste aber nothwendig aufgegeben werden, nachdem man einmal dahin gekommen war, den scheinbaren Durchmesser dieses Gestirns zu verschiedenen Zeiten des Jahres mit Genauigkeit zu messen. Wäre Hipparch's Hypothese richtig, so müssten sich die scheinbaren Durchmesser der Sonne zu Ende Juni und zu Ende December gleichfalls verhalten wie 3431 : 3670, während in der That die Sonnendurchmesser zu diesen Zeiten $31'\ 31{,}0''$ und $32'\ 35{,}6''$ sind, sich also verhalten wie 1891 zu 1956. Daraus geht hervor, dass die Entfernungen TM und TN sich verhalten müssen wie 1891,0 zu 1956, woraus folgt, dass die Excentricität der Sonnenbahn in der That nur $^1/_{60}$ ist.

Betrachten wir nun die Methoden, welche man angewandt hat, um den scheinbaren Durchmesser der Sonne mit Genauigkeit zu bestimmen. Zunächst lässt sich diese Bestimmung mit Hülfe eines jeden im Meridian aufgestellten und mit einem Fadenkreuz versehenen Fernrohrs ausführen; man hat nur die Zeit zu beobachten, welche vergeht zwischen dem Moment, in welchem der westliche Sonnenrand an den verticalen Faden des Fadenkreuzes herantritt, und demjenigen Moment, in welchem der östliche Sonnenrand diesen Faden verlässt. Bezeichnen wir mit t die zwischen den fraglichen Momenten vergangene, in Minuten ausgedrückte Zeit, so ist

$$S = \frac{t \cos. d}{4}$$

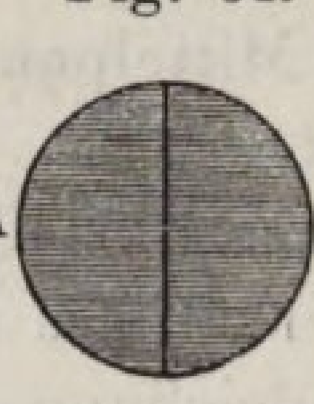
wenn S den in Graden ausgedrückten scheinbaren Durchmesser der Sonne und d die Declination der Sonne am Beobachtungstage bezeichnet.

Mit der grössten Genauigkeit lässt sich aber der Durchmesser der Sonne und anderer Himmelskörper sowohl, wie auch die Distanz nahe

stehender Fixsterne mit dem Heliometer bestimmen, dessen Einrichtung folgende ist.

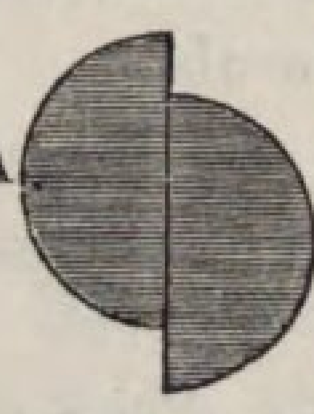
Das Heliometer ist im Wesentlichen ein astronomisches Fernrohr, dessen Objectiv durch einen diametralen Schnitt in zwei gleiche Hälften getheilt ist. Die eine Hälfte *A*, Fig. 64, des Objectivs ist in unveränderlicher Weise mit dem Rohre verbunden, während die andere

Fig. 64.



Hälfte *B*, Fig. 64 und Fig. 65, in der Richtung der Schnittfläche verschoben werden kann. Die Verschiebung dieser zweiten Objectivhälfte wird durch eine Schraube vermittelt, deren Kopf mit einer entsprechenden Theilung versehen ist, um noch Bruchtheile einer Umdrehung der Schraube mit Genauigkeit ablesen zu können.

Fig. 65.



Jede Hälfte des Objectivs entwirft nun für sich ein durch das Ocular zu betrachtendes Bild des Gegenstandes, auf welchen das Rohr gerichtet ist. Wenn nun die beiden Hälften des Objectivs so neben einander gestellt sind, dass ihre Mittelpunkte coincidiren, Fig. 64, so fallen auch die Bilder der beiden Hälften vollkommen zusammen, man sieht nur ein Bild, gerade so als ob man nur mit einem ganzen ungetheilten Objectiv zu thun hätte.

Sobald man aber die Objectivhälfte *B* aus dieser Lage nur im mindesten gegen die andere verschiebt, treten die beiden Bilder auseinander, man sieht zwei Bilder des Gegenstandes, auf welchen das Fernrohr gerichtet ist, welche um so mehr auseinander treten, je weiter die bewegliche Objectivhälfte *B* aus ihrer centralen Stellung verschoben wird.

Ist das Instrument auf die Sonne gerichtet (zu deren Beobachtung man natürlich Blendgläser anwenden muss), so sieht man ein einziges Sonnenbild, Nr. I. Fig. 66, wenn die Objectivhälfte *B* genau ihre centrale Stellung hat. Sobald man die Objectivhälfte *B* aus dieser Lage um etwas verschiebt, treten die beiden Sonnenbilder auseinander, Nr. II.

Fig. 66.

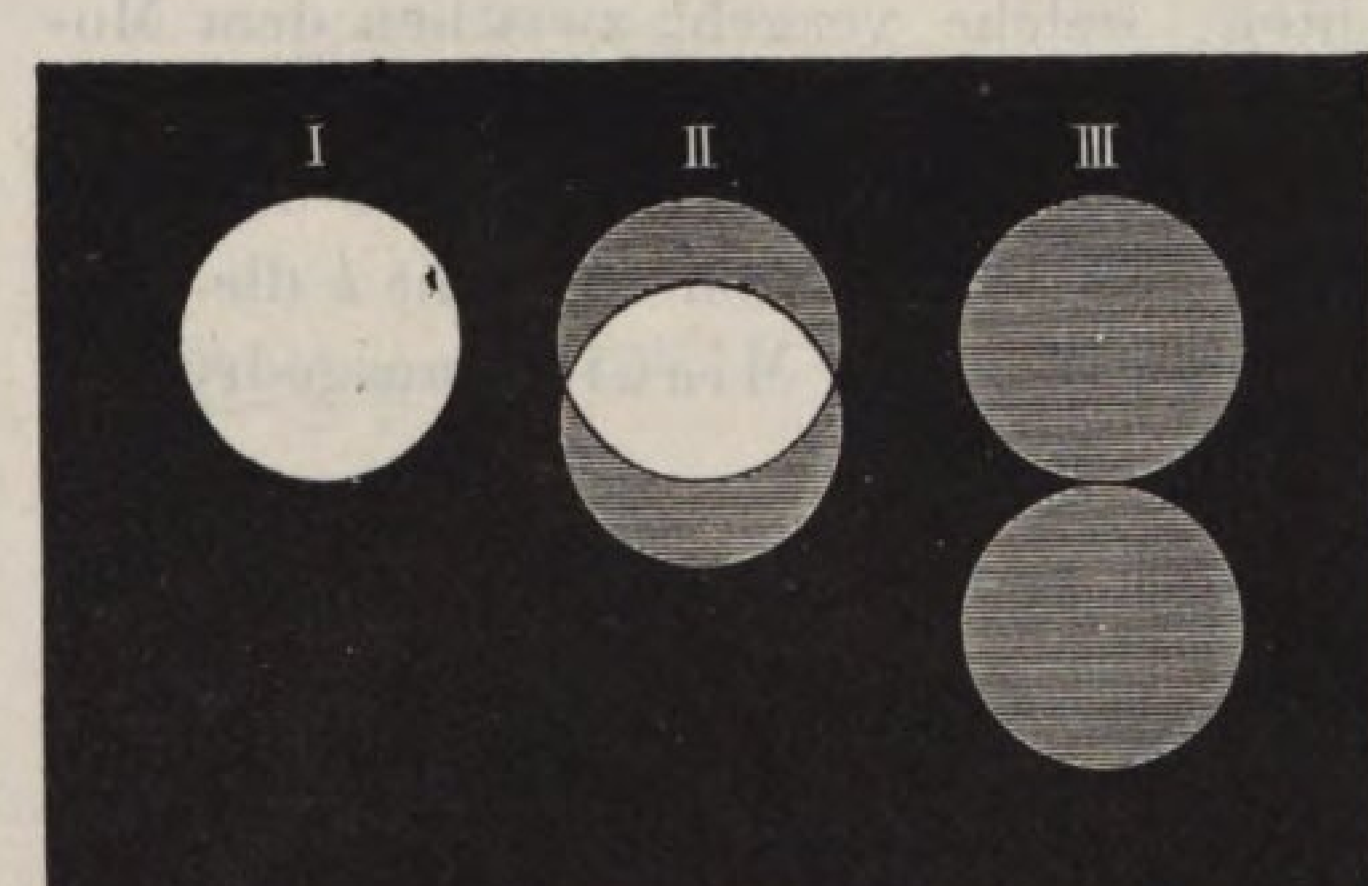


Fig. 66, und zwar werden sich die Mittelpunkte der beiden Sonnenbilder um so mehr von einander entfernen, je weiter die Objectivhälfte *B* verschoben wird; wenn aber endlich die Verschiebung von *B* so weit fortgesetzt worden ist, dass der Mittelpunkt des verschiebbaren Sonnenbildes um den scheinbaren Sonnendurchmesser von dem Mittelpunkt

des festen verschoben ist, so berühren sich die beiden Sonnenbilder, Nr. III. Fig. 66.

Um nun mit einer solchen Vorrichtung die scheinbare Grösse der Sonnenscheibe messen zu können, muss man ermitteln, wie gross die Winkelverschiebung des verschiebbaren Bildes ist, welche einer ganzen Umdrehung der Schraube entspricht, durch welche die zweite Objectivhälfte B verschoben wird. Um eine solche Graduirung der Schraube auszuführen, wird auf geschwärzter Pappscheibe ein weisser Kreis von genau zu messendem Durchmesser aufgetragen und alsdann diese Scheibe in einer grossen, gleichfalls genau zu messenden Entfernung vom Instrument aufgestellt. Da man nun den wahren Durchmesser sowohl wie die Entfernung des gemalten weissen Kreises kennt, so kann man den scheinbaren Durchmesser, d. h. den Winkel berechnen, unter welchem der weisse Kreis dem unbewaffneten Auge eines am Instrument aufgestellten Beobachters erscheint. Wir wollen den berechneten, in Minuten ausgedrückten scheinbaren Durchmesser des gemalten weissen Kreises mit w bezeichnen.

Nun wird das Heliometer auf die Scheibe mit dem weissen Kreis gerichtet und die Anzahl t der Umdrehungen bestimmt, um welche die die verschiebbare Hälfte des Objectivs führende Schraube gedreht werden muss, um die beiden Bilder des weissen Kreises aus der vollkommenen Coincidenz (Nr. I. Fig. 66) heraus, bis zu gegenseitiger Berührung (Nr. III. Fig. 66) zu bringen. Es ergiebt sich daraus, dass jeder Umdrehung der Schraube ein scheinbarer Durchmesser von

$$d = \frac{w}{t} \text{ Minuten}$$

entspricht. Wenn man also mit dem Heliometer die Sonne beobachtend n Umdrehungen der Schraube machen müsste, um die beiden Sonnenbilder aus der vollkommenen Coincidenz bis zur gegenseitigen Berührung zu bringen, so ist der scheinbare Sonnendurchmesser

$$D = n \frac{w}{t} \text{ Minuten.}$$

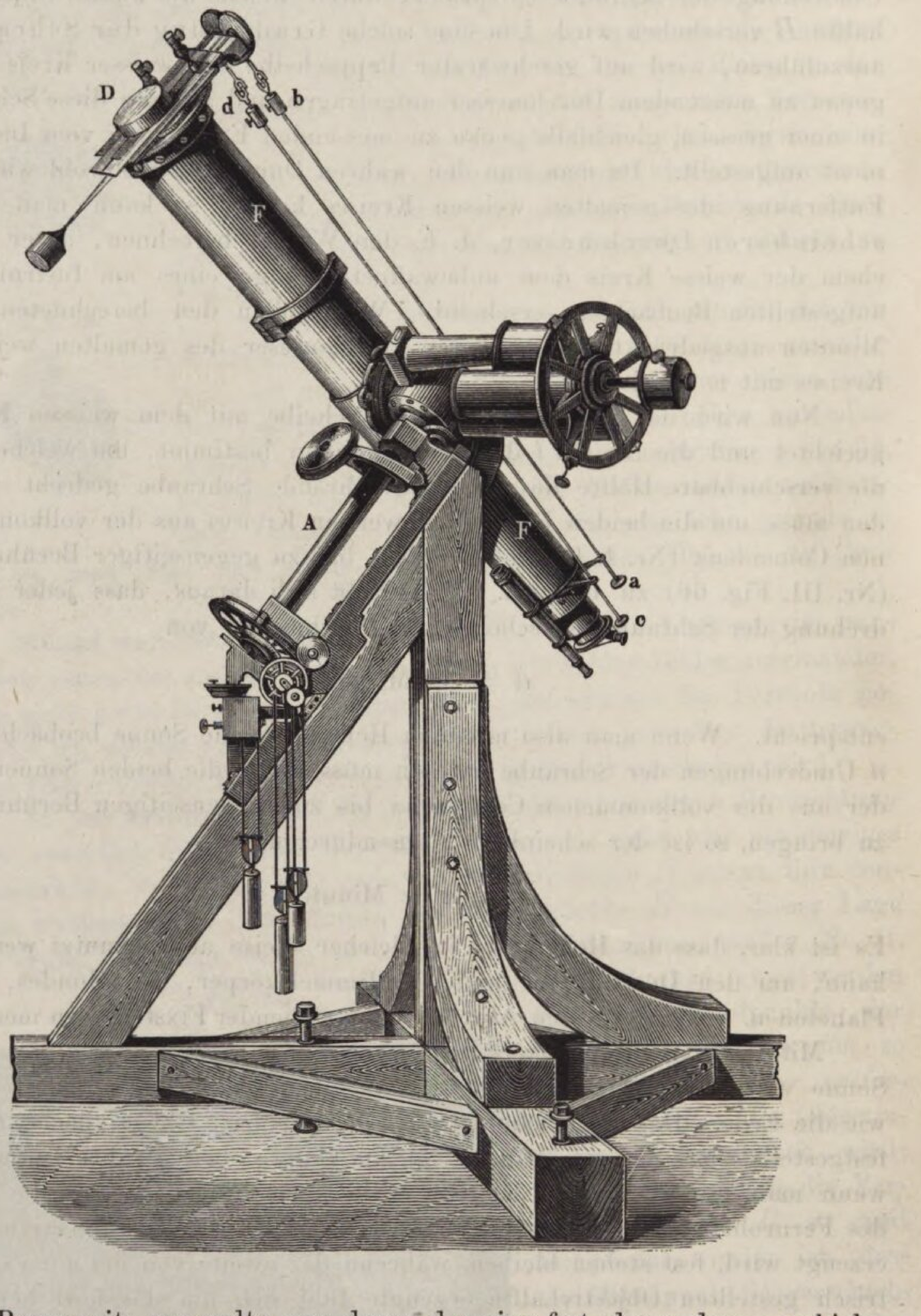
Es ist klar, dass das Heliometer in gleicher Weise auch benutzt werden kann, um den Durchmesser anderer Himmelskörper, des Mondes, der Planeten u. s. w., sowie den Abstand nahe stehender Fixsterne zu messen.

Mit Hülfe des Heliometers kann man sich auch überzeugen, dass die Sonne wirklich vollkommen kugelförmig, dass sie nicht abgeplattet ist wie die Erde. Hat man nämlich die verschiebbare Objectivfläche B so festgestellt, dass das eine Sonnenbild das andere eben berührt, so wird, wenn man nun die beiden Objectivhälften gemeinschaftlich um die Axe des Fernrohrs dreht, das eine Bild, welches von der festen Objectivhälfte erzeugt wird, fest stehen bleiben, während das zweite von der nun excentrisch gestellten Objectivhälfte erzeugte Bild sich um das feste herumbewegt. Führt man diesen Versuch aus, so findet man, dass die beiden Bilder vollkommen in Berührung bleiben, was nicht der Fall sein

würde, wenn die Sonnenkugel nur eine der Erde proportionale Abplattung hätte.

Das Heliometer ist eine Erfindung Bouguer's (1748), welcher jedoch statt der beiden Objectivhälften zwei ganze Objective von glei-

Fig. 67.



cher Brennweite anwandte, von denen das eine fest, das andere verschiebbar war. Dollond ersetzte die beiden Objective durch die beiden Hälf-

ten eines und desselben Objectivs, wodurch das Instrument bedeutend vereinfacht und verbessert wurde.

Es versteht sich von selbst, dass das Heliometer, um vollkommen seinem Zweck zu entsprechen, parallaktisch aufgestellt sein und durch ein Uhrwerk um die Weltaxe des Instrumentes gedreht werden muss. Fig. 67 stellt das Heliometer dar, welches Fraunhofer für die Königsberger Sternwarte construirt und mit welchem Bessel viele wichtige Untersuchungen ausgeführt hat. *A* ist die der Weltaxe parallel zu stellende Hauptdrehungsaxe des Instrumentes. *D* ist das aus zwei getrennten Hälften bestehende Objectiv. Längs des Rohres *F* sind zwei Schlüssel *ab* und *od* angebracht, vermittelst deren der Beobachter ohne das Ocular zu verlassen, nach Belieben die beiden Objectivhälften zusammen um die Axe des Rohres drehen, oder die Schraube in Bewegung setzen kann, welche die bewegliche Hälfte des Objectivs verschiebt.

Jährliche Bewegung der Erde um die Sonne. Aus Gründen, welche erst in dem Capitel von der Planetenbewegung ihre volle Würdigung finden können, hat man die Annahme, dass die Erde fest stehe und die Sonne um sie herumlaufe, verlassen und lässt statt dessen die Erde um die ruhende Sonne kreisen. 39

Wir wollen nun zunächst untersuchen, wie sich aus dieser Hypothese die scheinbare Bewegung der Sonne in der Ekliptik erklären lässt.

Der äussere Kreis Tab. V. stellt die Bahn dar, welche die Sonne scheinbar während eines Jahres durchläuft, und zwar ist diese Bahn in die 12 Zeichen des Thierkreises eingetheilt. Den Mittelpunkt der Figur bildet die Sonne, und um dieselbe ist dann der Kreis gezogen, welchen die Erde im Laufe eines Jahres wirklich durchläuft.

Der Durchmesser der Erdbahn sollte freilich verschwindend klein sein gegen den Durchmesser des Thierkreises. Obgleich nun dies Verhältniss auch nicht entfernt annähernd eingehalten ist, so kann man doch aus dieser Figur ersehen, an welcher Stelle der Ekliptik die Sonne erscheinen muss, wenn die Erde verschiedene Orte ihrer Bahn einnimmt.

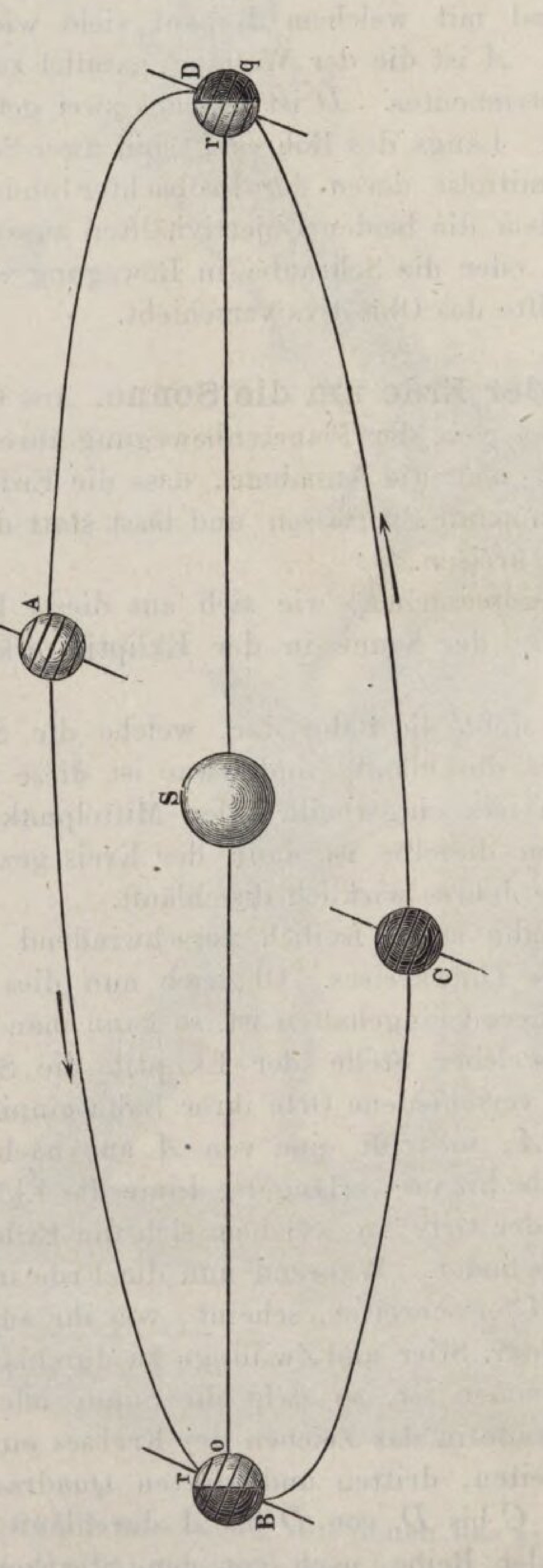
Befindet sich die Erde in *A*, so trifft eine von *A* aus nach der Sonne gezogene und über dieselbe hinaus verlängerte Linie die Ekliptik in dem Punkte 0♈, *A* ist also der Ort, an welchem sich die Erde zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums befindet. Während nun die Erde in der Richtung des Pfeils von *A* bis *B* fortschreitet, scheint, von ihr aus gesehen, die Sonne die Zeichen Widder, Stier und Zwillinge zu durchlaufen, und wenn die Erde in *B* angekommen ist, so steht die Sonne offenbar gerade vor 0♋, d. h. sie tritt gerade in das Zeichen des Krebses ein.

Während die Erde den zweiten, dritten und vierten Quadranten, also die Wege von *B* bis *C*, von *C* bis *D*, von *D* bis *A* durchläuft, bewegt sich die Sonne scheinbar der Reihe nach vor den Sternzeichen Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann

und Fische her, die Sonne scheint also die Ekliptik in der angegebenen Richtung zu durchlaufen.

Während die Erde in der angegebenen Weise um die Sonne herumläuft, dreht sie sich aber auch noch in je 24 Stunden um ihre Axe; die Erdaxe aber steht nicht rechtwinklig auf der Ebene der Ekliptik, sondern sie macht einen Winkel von $66^0\ 32'$ mit derselben, so dass also der Erdäquator, mithin auch der Himmelsäquator einen Winkel von $23^0\ 28'$ mit der Ebene der Erdbahn machen.

Fig. 68.



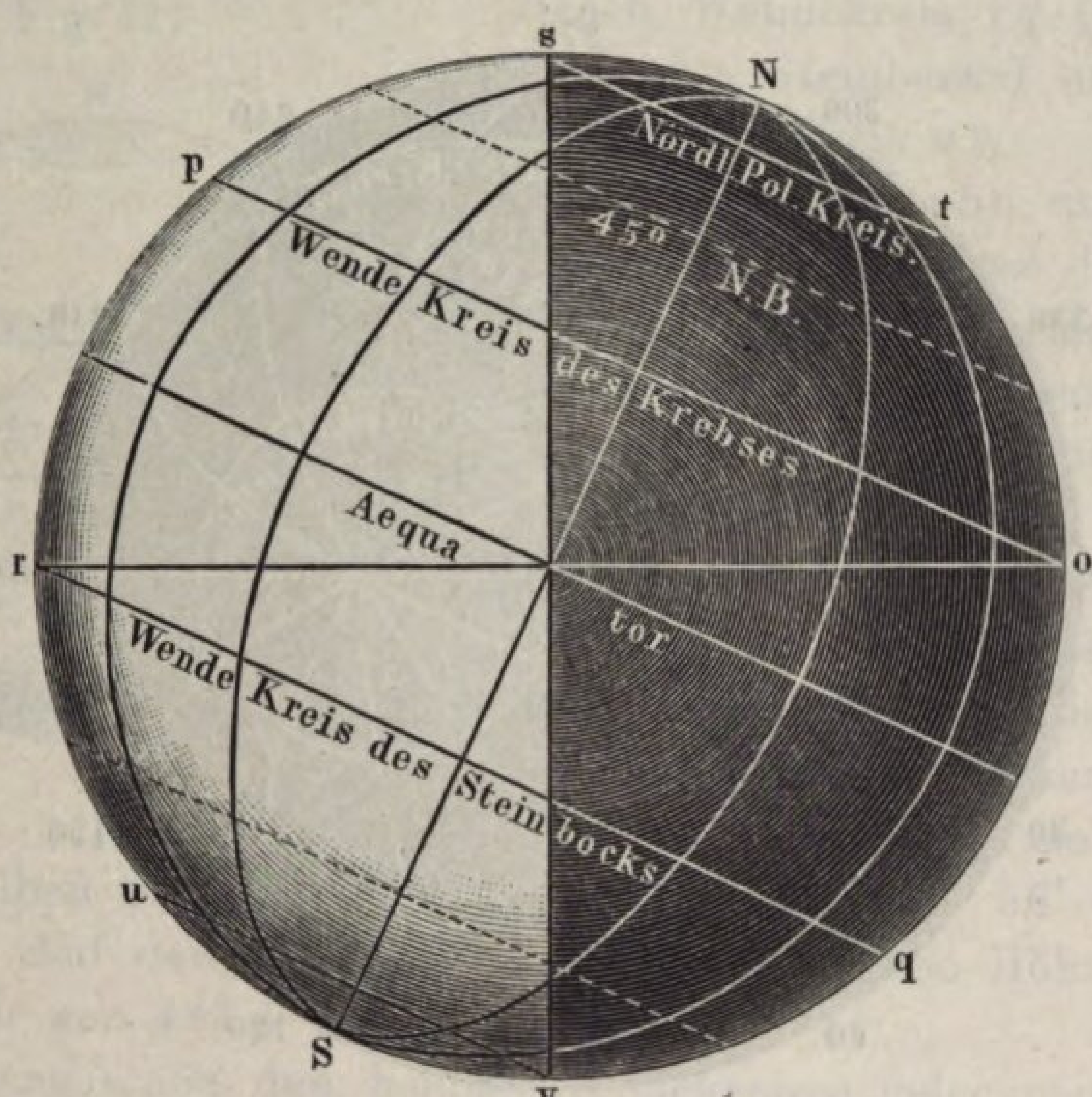
Da nun die Lage der Weltaxe, sowie die Lage des Himmelsäquators das ganze Jahr hindurch unverändert bleiben, so müssen wir annehmen, dass die Erdaxe trotz der fortschreitenden Bewegung der Erde doch stets dieselbe Richtung im Weltraume beibehält, dass also die Erdaxe immer parallel mit sich selbst fortrückt. Es ist dies zwar auch in Tab. V. zu erkennen, deutlicher aber sieht man es in Fig. 68, welche die Erdbahn perspectivisch darstellt.

Betrachten wir das Verhältniss der Erde zu den Sonnenstrahlen etwas näher, so sehen wir, dass zur Zeit des Wintersolstitiums, also wenn die Erde bei *D*, Fig. 68, steht, die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf einen Punkt *r* fallen, welcher 23^0 $28'$ südlich vom Aequator liegt.

In Fig. 68 ist die Erdkugel zu klein, um die hier in Frage kommenden Verhältnisse recht deutlich übersehen zu können, deshalb ist sie in Fig. 69 in gleicher Stellung, wie bei *D*, Fig. 68, in vergrössertem Maassstabe dargestellt, und Fig. 70 (a. S. 108) zeigt die auf dieEbene der Ekliptik projicirte Erdkugel zur Zeit des Wintersolstitiums.

Der Parallelkreis rq, welcher 23° 28′ südlich vom Aequator liegt, ist die südlichste Grenze, für welche die Sonne im Zenith erscheinen

Fig. 69.



kann. Weil nun die Sonne, wenn die Erde bei D steht, in das Zeichen des Steinbocks eintritt, so heisst dieser Parallelkreis rq der Wendekreis des Steinbocks.

Wenn die Sonne in das Zeichen des Steinbocks tritt, wenn sich die Erde also bei D, Tab. V. und Fig. 68, befindet, so tangiren die Sonnenstrahlen die nördliche Erdhälfte in s, Fig. 69, die südliche in v. Der durch s gelegte Parallelkreis st heisst der nördliche, der durch v gelegte Parallelkreis uv heisst der südliche Polarkreis.

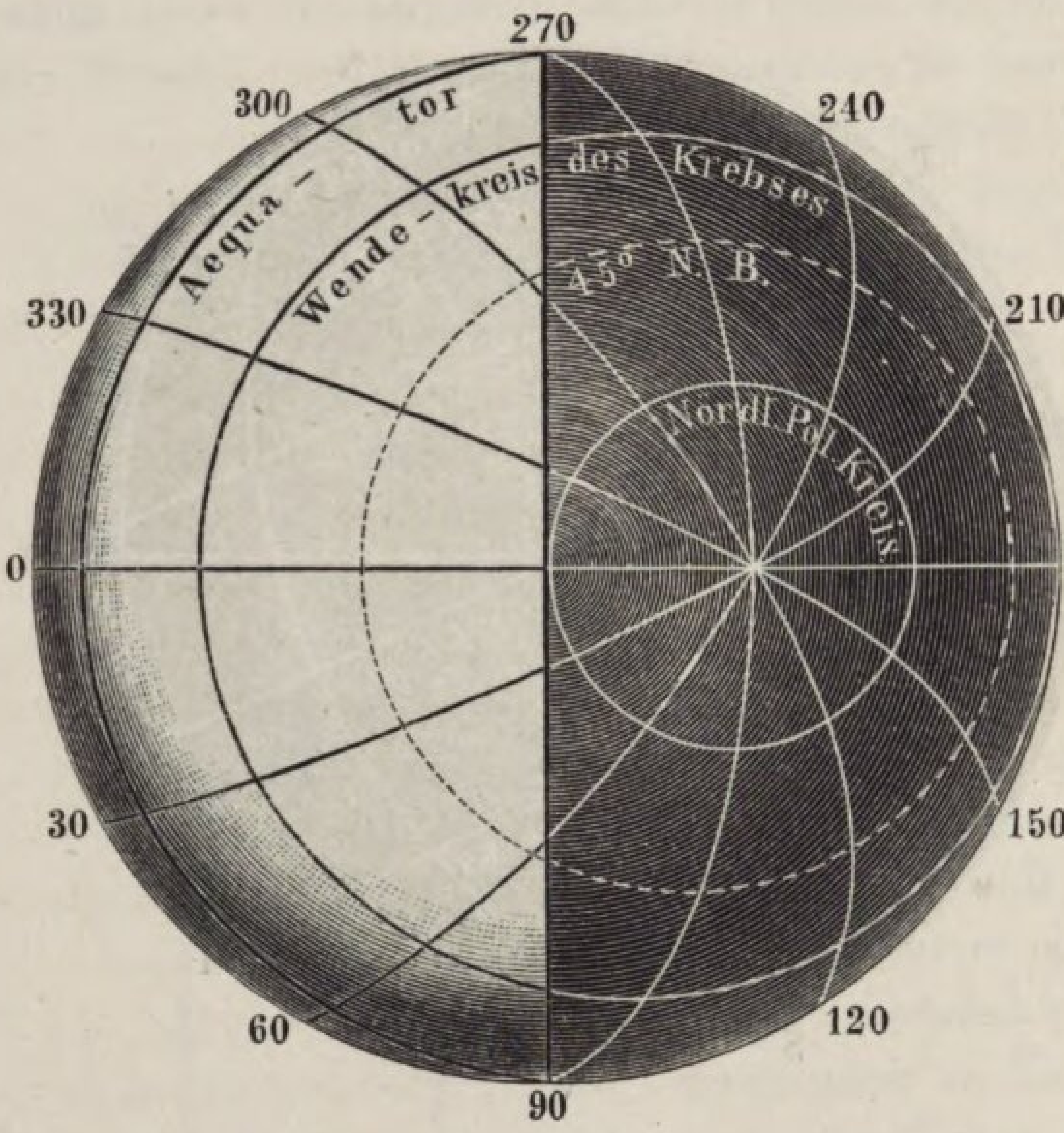
Der südliche Polarkreis uv bildet die Gränze derjenigen Orte, für welche zur Zeit des Wintersolstitiums in Folge der Axendrehung der Erde noch ein Auf- und Untergang der Sonne innerhalb 24 Stunden stattfindet. Für alle Orte des südlichen Polarkreises ist der längste Tag 24 Stunden und für alle Orte, welche innerhalb des südlichen Polarkreises liegen, geht zur Zeit des Wintersolstitiums die Sonne nicht mehr unter (siehe oben §. 16).

Von dem ganzen Flächenraum, welcher innerhalb des nördlichen Polarkreises st liegt, bleiben zur Zeit des Wintersolstitiums die Sonnenstrahlen gänzlich abgehalten. Es ist dies die Zeit der längsten Nacht für die nördliche Hemisphäre, und diese dauert auf dem nördlichen Polarkreise 24 Stunden.

Von D, Tab. V. und Fig. 68, aus gelangt die Erde während des nächsten Vierteljahres nach A, und nun tritt die Sonne in das Zeichen

des Widders. Es ist dies die Zeit des Frühlings-Aequinoctiums. Die Sonnenstrahlen treffen jetzt rechtwinklig auf einen Punkt des Aequators

Fig. 70.



und tangiren die beiden Pole. Der grösste Kreis der Erdkugel, welcher die beleuchtete von der dunklen Erdhälfte scheidet, geht jetzt durch die beiden Pole, er halbirt also alle Parallelkreise, und daher kommt es denn, dass um diese Zeit Tag und Nacht auf der ganzen Erde gleich sind.

Wenn die Erde in *B* angekommen ist, wenn sie also ins Zeichen des Krebses eintritt, so fallen die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf denjenigen Punkt *o* des 23° 28′ nördlich vom Aequator liegenden Kreises *op*, für welchen die Sonne gerade culminirt. Der Kreis *op* enthält also die nördlichsten Punkte der Erde, für welche die Sonne noch ins Zenith kommen kann. Er wird der Wendekreis des Krebses genannt.

Zur Zeit des Sommersolstitiums geht während der täglichen Umdrehung die Sonne innerhalb des nördlichen Polarkreises nicht mehr unter, innerhalb des südlichen nicht mehr auf. Der nördliche Polarkreis hat jetzt seinen längsten Tag von 24 Stunden und ebenso lang ist zu dieser Zeit die Nacht des südlichen Polarkreises.

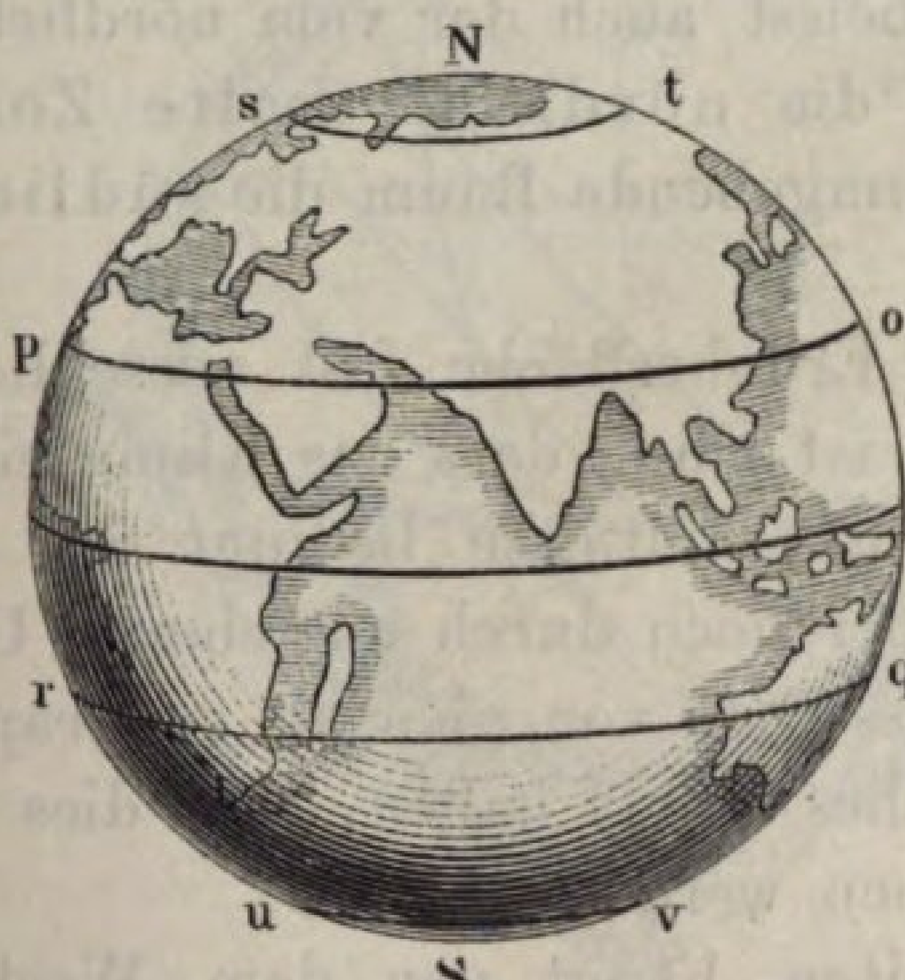
Zur Zeit des Herbstäquinoctiums, wenn die Erde in *C* angelangt ist, sind die Insolationsverhältnisse dieselben wie zur Zeit der Frühlings-Tag- und Nachtgleiche.

40 **Eintheilung der Erde in fünf Zonen.** Durch die beiden Wendekreise und die beiden Polarkreise wird die Erde in fünf Zonen getheilt.

Die heisse Zone ist der Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt und dessen Mitte der Erdäquator bildet.

Die nördliche gemässigte Zone ist der Raum zwischen dem Wendekreis des Krebses *po*, Fig. 71, und dem nördlichen Polarkreis *st*. Diesem entspricht die südliche gemässigte Zone zwischen dem südlichen Wendekreis *rq* (dem Wendekreis des Steinbocks) und dem südlichen Polarkreis *uv*.

Fig. 71.



Die nördliche und südliche kalte Zone endlich sind die durch den nördlichen und südlichen Polarkreis eingeschlossenen Flächenräume. Der Nordpol bildet den Mittelpunkt der nördlichen, der Südpol bildet den Mittelpunkt der südlichen kalten Zone.

Am 22. Juni erreicht die Sonne für die auf dem nördlichen Wendekreise gelegenen Orte zur Mittagszeit das Zenith, während am 22. December für dieselben Orte zur Mittagszeit die Sonne 46° 56′ von dem Zenith absteht. Auf den Wendekreisen variirt also die Höhe der Sonne zur Mittagszeit von 43° 4′ bis 90°.

An allen zwischen den beiden Wendekreisen gelegenen Orten geht die Sonne zweimal im Jahre durch das Zenith. Die Zeitpunkte aber, in welchen dies stattfindet, rücken um so weiter aus einander, je weiter man sich von den Wendekreisen aus dem Aequator nähert. Auf dem Aequator selbst liegen diese Zeitpunkte um ½ Jahr aus einander, indem hier die Sonne das Zenith zur Zeit des Frühlings- und des Herbstäquinoctiums passirt.

Für den Aequator ist die grösste Höhe, welche die Sonne des Mittags erreicht, 90°, die geringste 66° 32′.

Der niedrigste Sonnenstand für den Aequator ist also immer noch etwa um 3° grösser als der höchste Stand, welchen die Sonne im mittleren Deutschland am 21. Juni erreicht, und für die Wendekreise ist der niedrigste Sonnenstand ungefähr demjenigen gleich, welcher auf dem 50. Breitengrade zu Ende März stattfindet. Der ganze Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt, ist demnach das ganze Jahr hindurch einer sehr kräftigen Wirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt, weshalb er auch den Namen der heissen Zone führt.

Ausserhalb der Wendekreise erreicht die Sonne nie mehr das Zenith, und ihre Strahlen fallen um so schräger auf, je mehr man sich den Polen nähert. Auf den Polarkreisen ist die grösste Mittagshöhe, welche die Sonne erreicht, ungefähr der geringsten Mittagshöhe der Wendekreise gleich. Zur Winterszeit aber sinkt die Höhe der Sonne um Mittag auf den Polarkreisen bis auf 0 herab; es ist also klar, dass die Wärme,

welche durch die Sonnenstrahlen auf der Erdoberfläche hervorgebracht wird, von den Wendekreisen gegen die Polarkreise hin rasch abnehmen muss.

Ueber die Polarkreise hinaus, wo die Sonnenstrahlen längere Zeit gar nicht hintreffen und wo sie, wenn die Sonne auch über dem Horizont steht, doch nur sehr schräg auffallen, muss nothwendig eine sehr niedrige Temperatur herrschen; deshalb heisst auch der vom nördlichen Polarkreis eingeschlossene Flächenraum die nördliche kalte Zone, während der entsprechende den Südpol umgebende Raum die südliche kalte Zone genannt wird.

Da die Wärmeentwickelung auf der Erdoberfläche fast ausschliesslich von den Sonnenstrahlen herrührt, so ist klar, dass das Klima eines Landes vorzugsweise durch die Insolationsverhältnisse bedingt ist; die Wirksamkeit der Sonnenstrahlen wird aber noch durch mancherlei Umstände modificirt, und so kommt es, dass Orte von gleicher geographischer Breite keineswegs auch stets gleiches Klima haben, wie dies im dritten Buche ausführlicher wird besprochen werden.

Die Abwechselung unserer Jahreszeiten hängt von dem Wechsel der Insolationsverhältnisse ab. In unserem Kalender wird als Frühling die Zeit bezeichnet, während welcher die Sonne den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum nördlichen Solstitialpunkte durchläuft.

Während unseres Sommers geht die Sonne vom nördlichen Solstitialpunkt bis zum Herbstpunkte. Herbst und Winter sind die Zeiten, während welcher die Sonne vom Herbstpunkte bis zum südlichen Solstitialpunkte und von diesem wieder bis zum Frühlingspunkte fortschreitet.

41 **Tagesdauer an verschiedenen Orten und in verschiedenen Jahreszeiten.** Nach §. 16 ist es klar, dass die Dauer des Tages, d. h. die Zeit, während welcher die Sonne über dem Horizont bleibt, von der Stellung abhängt, welche dieses Gestirn gerade am Himmel einnimmt, dass sie sich also mit der Jahreszeit ändert.

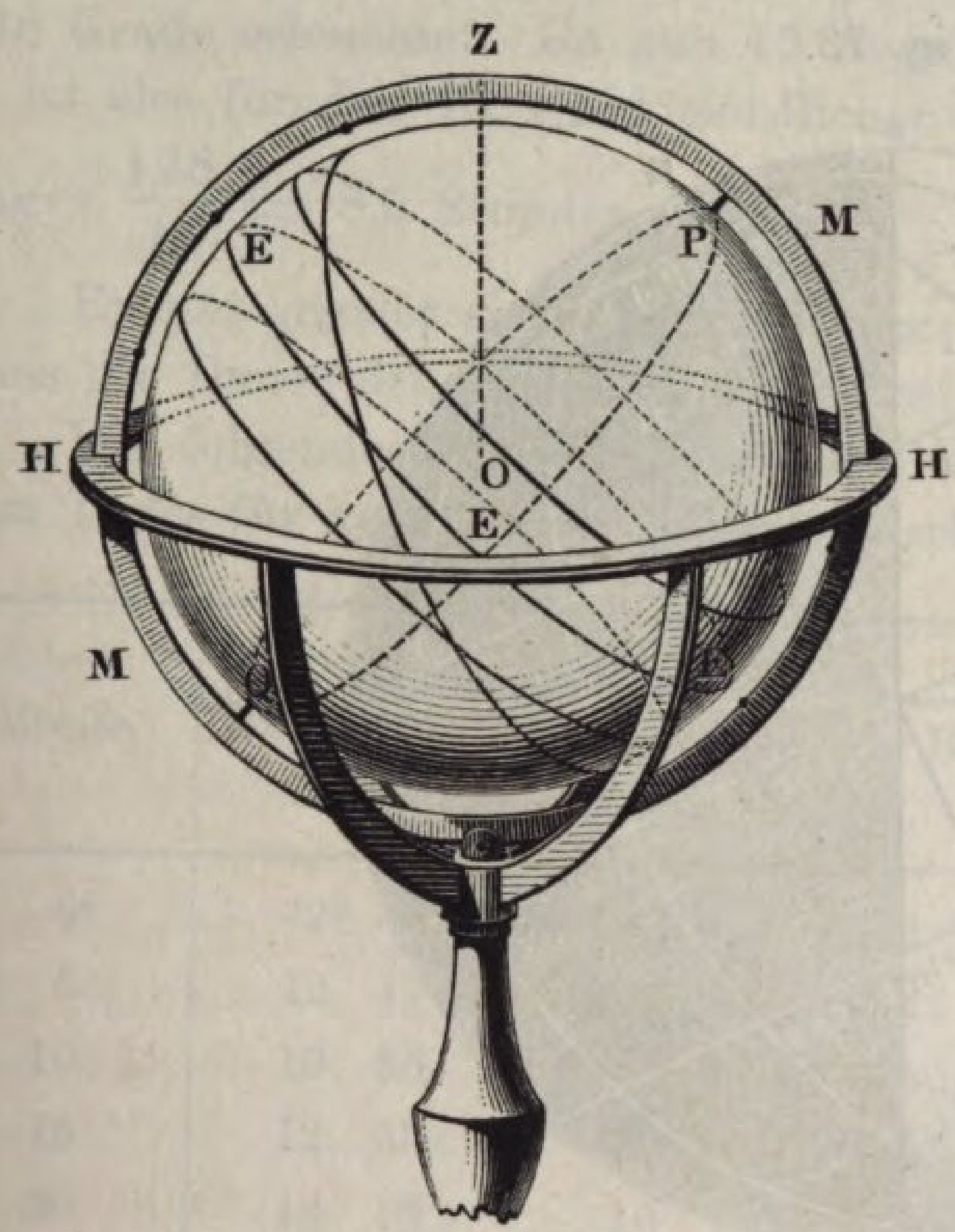
Wenn die Sonne gerade auf dem Himmelsäquator steht, so ist für alle Orte der Erde ihr Tagbogen dem Nachtbogen gleich, Tag und Nacht sind überall gleich lang, daher denn auch die Punkte, in welchen die Sonnenbahn den Himmelsäquator schneidet, Aequinoctialpunkte genannt werden.

Je mehr die nördliche Declination der Sonne zunimmt, desto mehr wächst für die nördliche Erdhälfte ihr Tagbogen, bis er endlich zur Zeit des Sommersolstitiums ein Maximum wird. Befindet sich dagegen die Sonne auf der südlichen Hemisphäre des Himmels, so ist auf der Nordhälfte der Erde der Tagbogen kleiner, der Nachtbogen grösser, und am längsten wird die Nacht zur Zeit des Wintersolstitiums.

Wie lang für einen bestimmten Ort der Erde die Dauer des Tages zu einer gegebenen Zeit des Jahres sei, kann man mit Hülfe eines Himmelsglobus leicht ermitteln. Man braucht nur die Axe PQ des Globus,

Fig. 72, so gegen die Ebene des Horizontes *HH* zu neigen, wie es der Polhöhe des Ortes entspricht, und alsdann diejenige Stelle der Ekliptik zu bezeichnen, an welcher sich gerade die Sonne befindet. Man kann nun leicht mittelst des Stundenkreises sehen, wie viel Stunden der Tagbogen der Sonne beträgt. Soll z. B. ermittelt werden, wie gross der Tagbogen der Sonne am 1. Mai für das mittlere Deutschland sei, so hat man zunächst den Globus so zu stellen, dass die Axe *PQ* einen Winkel von 50 Grad mit dem Horizont macht. Am 1. Mai ist die Länge der Sonne $40^1/_2$ Grad, man hat also auf der Ekliptik $40^1/_2$ Grad vom Frühlingspunkte an nach Osten zu zählen, um den Punkt zu finden, an welchem sich gerade die Sonne befindet. Der Globus wird nun in diejenige Stellung gebracht, welche dem Aufgang des bezeichneten Punktes entspricht, und die Stellung des Zeigers auf dem Stundenkreise gemerkt; alsdann wird die Kugel von Ost nach West bis zum Untergang des bezeichneten Punktes gedreht und die Grösse der Drehung auf dem Stundenkreise abgelesen. Man findet auf diese Weise für den Tagbogen der Sonne am 1. Mai im mittleren Deutschland $14^1/_2$ Stunden.

Fig. 72.



Nach diesem Verfahren ist es auch leicht, die Dauer des längsten und des kürzesten Tages für einen beliebigen Ort auf der Erde zu finden.

Diese Aufgabe lässt sich auch ohne Globus mit Hülfe einer einfachen geometrischen Construction auflösen.

Fig. 73 (a. f. S.) stelle die Erde zur Zeit des Wintersolstitiums dar, und zwar auf eine Ebene projicirt, welche mit der Erdaxe parallel und rechtwinklig auf der Ebene der Ekliptik steht. Alle Parallelkreise erscheinen hier zur Linie verkürzt. — Die Linie *sv*, welche die beleuchtete Erdhälfte von der dunkeln scheidet, theilt den Aequator in zwei gleiche Theile, alle übrigen Parallelkreise aber in ungleiche Theile. Derjenige Theil eines Parallelkreises nun, welcher auf der erleuchteten Erdhälfte liegt, verhält sich zum ganzen Kreisumfang wie die Dauer des kürzesten Tages zu 24 Stunden. Um die Dauer des kürzesten Tages für einen gegebenen Parallelkreis zu bestimmen, hat man also nur zu ermitteln, wie gross der erleuchtete Bogen dieses Parallelkreises ist.

Um dies besser zu übersehen, ist die Erde in ihrer dem Wintersol-

stitium entsprechende Lage in Fig. 74 auf die Ebene der Ekliptik projicirt, dargestellt. Man sieht hier, wie in Fig. 73, dass um diese Zeit der ganze nördliche Polarkreis in Schatten liegt, dass für diesen also die

Fig. 73.

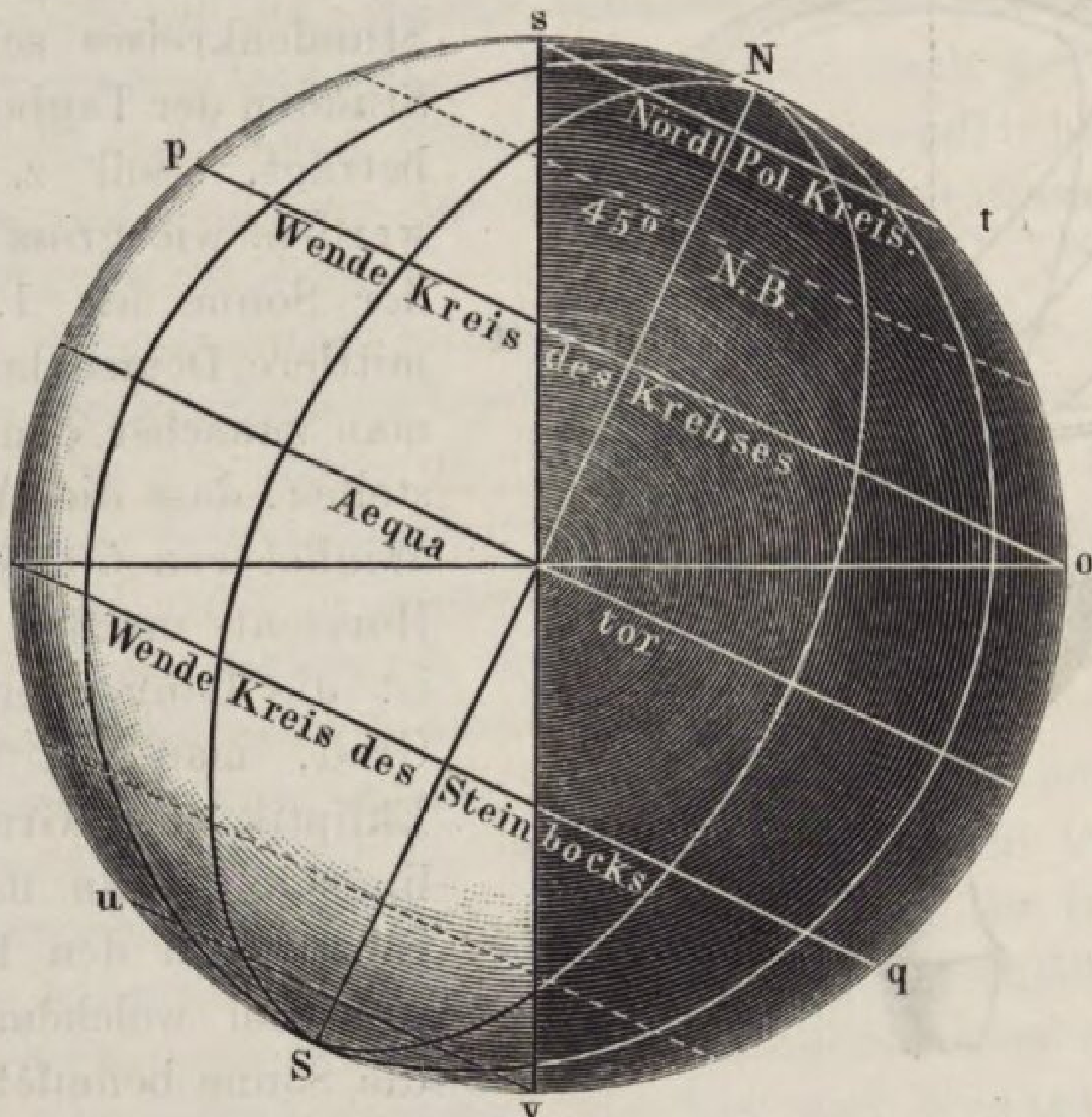
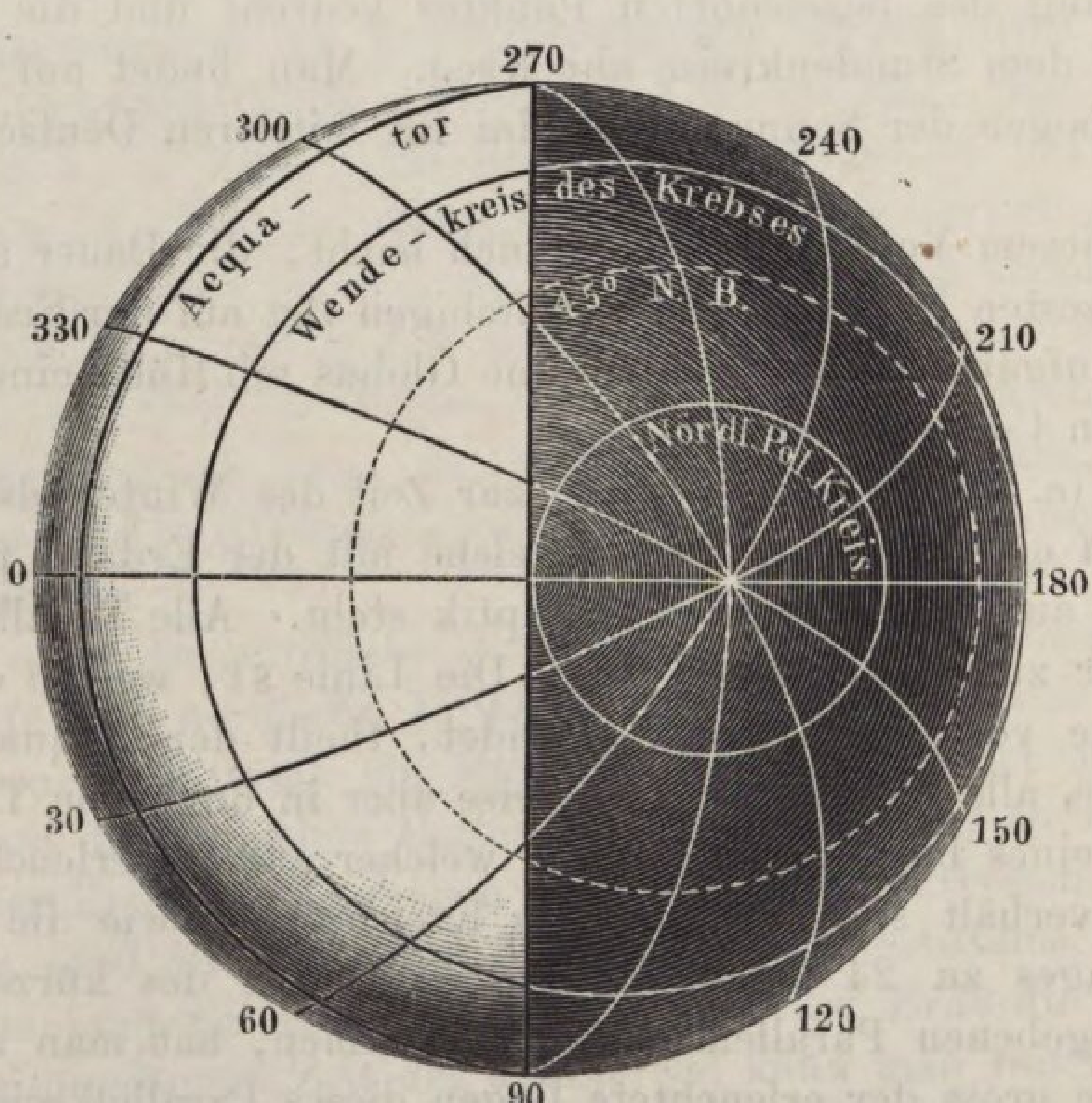


Fig. 74.



Dauer der längsten Nacht 24 Stunden beträgt, die Dauer des kürzesten Tages also 0 ist.

Von dem Parallelkreis 45 Grad nördlicher Breite sind ungefähr 128 Grade erleuchtet. Da nun 15 Bogengrade einer Stunde entsprechen, so ist also für den 45. Grad nördlicher Breite die Dauer des kürzesten Tages $\frac{128}{15} = 8,5$ Stunden.

Ebenso ergiebt sich aus der Figur, dass für den nördlichen Wendekreis die Dauer des kürzesten Tages zwischen 10 und 11 Stunden beträgt.

Die folgende Tabelle giebt die Dauer des längsten und des kürzesten Tages für verschiedene geographische Breiten an:

Breite.	Dauer des längsten Tages.	Dauer des kürzesten Tages.	Breite	Dauer des längsten Tages.	Dauer des kürzesten Tages.
0°	12^h 0′	12_h 0′	40°	14^h 51′	9^h 9′
5	12 17	11 43	45	15 26	8 34
10	12 35	11 25	50	16 9	7 51
15	12 53	11 7	55	17 7	6 53
20	13 13	10 47	60	18 30	5 30
25	13 34	10 26	65	21 9	2 51
30	13 56	10 4	66° 32′	24 0	0 0
35	14 26	9 38			

Für Orte, welche innerhalb der Polarkreise liegen, wechselt die Dauer des Tages von 0 bis 24 Stunden in dem Theil des Jahres, in welchem die Sonne noch auf- und untergeht. Die Anzahl der Tage aber, während welcher die Sonne stets über dem Horizont bleibt, ohne unterzugehen, und die Zahl der Tage, während welcher sich die Sonne gar nicht über den Horizont erhebt, wechselt mit der Breite. Die folgende Tabelle giebt die Anzahl dieser Tage an für verschiedene **nördliche** Breiten von 66° 32′ bis 90°.

Nördliche Breite.	Die Sonne geht nicht unter ungefähr in	Die Sonne geht nicht auf ungefähr in
66° 32′	1 Tag	1 Tag
70	65 Tagen	60 Tagen
75	103 „	97 „
80	134 „	127 „
85	161 „	153 „
90	186 „	179 „

Dass für die nördliche kalte Zone die Zahl der Tage, an welchen die Sonne nicht untergeht, grösser ist, als die Zahl der Tage, an welchen sie unter dem Horizont bleibt, rührt daher, dass die Sonne überhaupt länger auf der nördlichen Hemisphäre des Himmels verweilt als auf der südlichen. Für die südliche kalte Zone ist die Zahl der Tage, an welchen die Sonne nicht aufgeht, gleich der Zahl der Tage, an welchen in gleicher nördlicher Breite kein Untergang stattfindet. In einer südlichen Breite von 75 Grad bleibt die Sonne 103 Tage anhaltend unsichtbar, während sie dann wieder 97 Tage lang nicht untergeht.

Wir haben hier die Tagesdauer betrachtet, wie sie sich aus rein geometrischen Beobachtungen ergiebt, ohne Rücksicht auf den Einfluss der atmosphärischen Strahlenbrechung und der Dämmerung zu nehmen. Wie durch diese Einflüsse die Dauer des Tages verlängert wird, können wir erst im zweiten Buche untersuchen.

42 **Wahre Gestalt der Erdbahn.** Wir haben gesehen, dass der scheinbare Durchmesser der Sonne im Laufe eines Jahres bald ab-, bald zunimmt. Wenn man nun die scheinbare Bewegung der Sonne in allen ihren Verhältnissen und Beziehungen durch eine wirkliche Bewegung der Erde erklären will, so darf man die Sonne nicht in den Mittelpunkt der Erdbahn setzen, und zwar folgt aus den in §. 38 entwickelten Gründen, dass die Excentricität der Erdbahn gleich $^1/_{60}$ ihres halben Durchmessers sein muss.

Um aber auch die Veränderungen der scheinbaren Geschwindigkeit der Sonne mit den entsprechenden Variationen ihres Durchmessers und den daraus sich ergebenden Veränderungen ihrer Entfernung von der Erde in Uebereinstimmung zu bringen, muss man die Ansicht aufgeben, als ob die Erde sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihrer Bahn fortbewegte. Nach §. 38 verhalten sich die Entfernungen zwischen Erde und Sonne am 1. Januar und am 1. Juli wie 18 910 zu 19 556. Die Quadrate dieser Zahlen verhalten sich wie 1 zu 1,0695, und dies ist gerade auch das Verhältniss der in §. 27 bereits mitgetheilten täglichen Winkelgeschwindigkeiten an den genannten Tagen; daraus folgt also, dass die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher sich die Erde, von der Sonne aus gesehen, fortbewegt, sich umgekehrt verhält wie das Quadrat der Entfernung beider Weltkörper.

Bezeichnen wir mit W_1 und W_f die von der Sonne aus gesehenen Winkelgeschwindigkeiten der Erde für die Entfernungen 1 und f, so ist demnach

$$W_f = \frac{W_1}{f^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Nun ist aber offenbar der Bogen TT', Fig. 75, welchen die Erde in einer gegebenen Zeit zurücklegt, dem Winkel TST' und der Entfernung TS proportional; bezeichnen wir also die den Entfernungen 1 und entsprechenden Bogen mit B_1 und B_f, so haben wir

$$B_1 = n W_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$
$$B_f = n W_f . f \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Setzen wir in Gleichung (3) den aus Gleichung (1) genommenen Werth von W_f, so kommt:

$$B_f = \frac{n W_1}{f^2} . f = \frac{n W_1}{f}$$

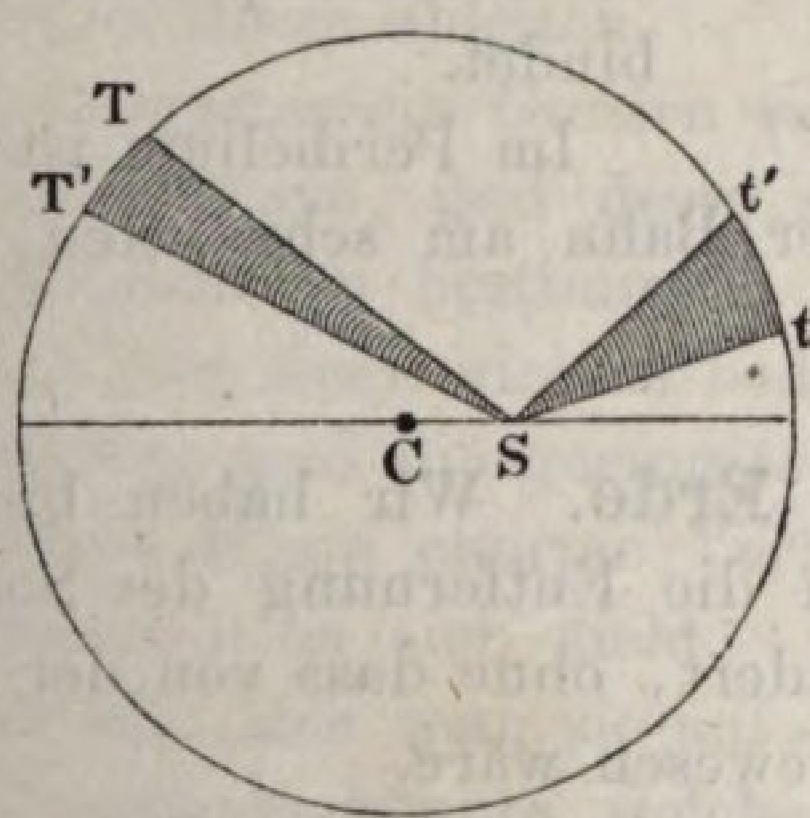
oder, wenn man nach Gleichung (2) B_1 für W_1 setzt:

$$B_f = \frac{B_1}{f},$$

das heisst in Worten: die in gleichen Zeiten von der Erde in ihrer Bahn zurückgelegten Bogen verhalten sich umgekehrt wie die Entfernung der Erde von der Sonne.

Wenn sich aber die in gleichen Zeiten von der Erde beschriebenen Bogen TT' und tt', Fig. 75, umgekehrt verhalten wie die Entfernungen TS und tS, so folgt, dass der Inhalt des Dreiecks TST' dem Inhalt des Dreiecks tSt' gleich ist.

Fig. 75.



Das obige Gesetz lässt sich demnach auch folgendermaassen aussprechen:

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Erde in ihrer Bahn fortschreitet, ist von der Art, dass der Leitstrahl (radius vector), welchen man sich von der Sonne zur Erde gezogen denken kann, in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt.

Dieses Gesetz der Geschwindigkeiten, welches unter dem Namen des ersten Kepler'schen Gesetzes bekannt ist, gilt, wie wir im nächsten Capitel sehen werden, in gleicher Weise auch für alle übrigen um die Sonne kreisenden Planeten.

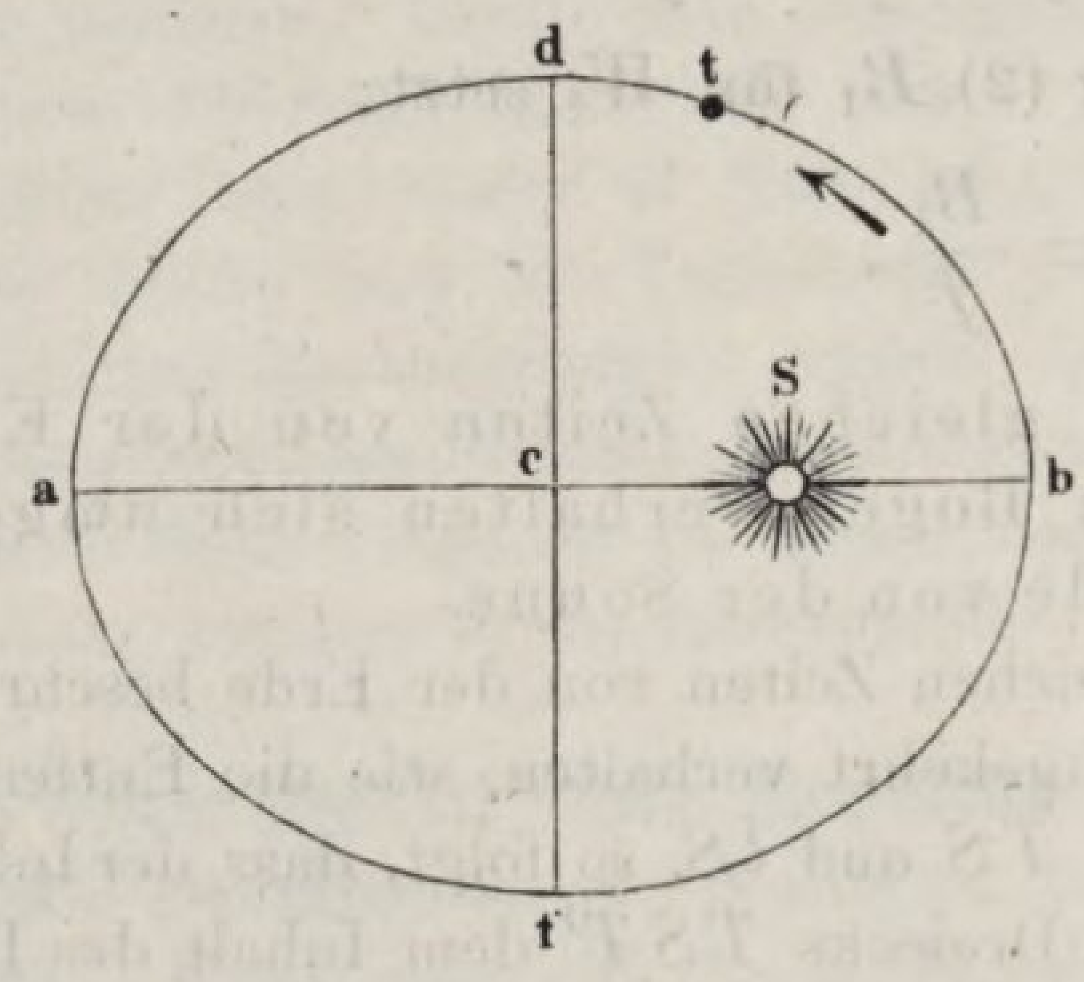
Nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze ist die Bahn aller Planeten, folglich auch die Bahn der Erde, welche durch Copernicus unter die Planeten eingereiht worden ist, kein Kreis, sondern eine Ellipse, und die Sonne befindet sich in dem einen Brennpunkte derselben.

Die grosse Axe ab, Fig. 76 (a. f. S.), dieser Ellipse führt den Namen der Absidenlinie; die Entfernung der Sonne von dem Mittelpunkte c ist die Excentricität der Erdbahn; sie beträgt ungefähr $^1/_{60}$ der halben grossen Axe ca, und daraus folgt, dass die Ellipse, welche die Erde innerhalb eines Jahres durchläuft, sehr wenig von der Kreisgestalt abweicht. In unserer Figur ist die Excentricität viel zu gross genommen, damit die elliptische Gestalt deutlicher hervortrete. Die

kleine Axe df der Erdbahn verhält sich zur grossen Axe ab wie 0,99986 zu 1.

Wenn sich die Erde in b, dem einen Endpunkte der grossen Axe, befindet, so ist sie in der Sonnennähe, im Perihelium; ihre grösste Entfernung von der Sonne erreicht sie im anderen Endpunkte a der grossen Axe; hier ist die Erde in der Sonnenferne, im Aphelium.

Fig. 76.



Am 1. Januar ist die Sonne im Perihelium, am 1. Juli ist sie im Aphelium.

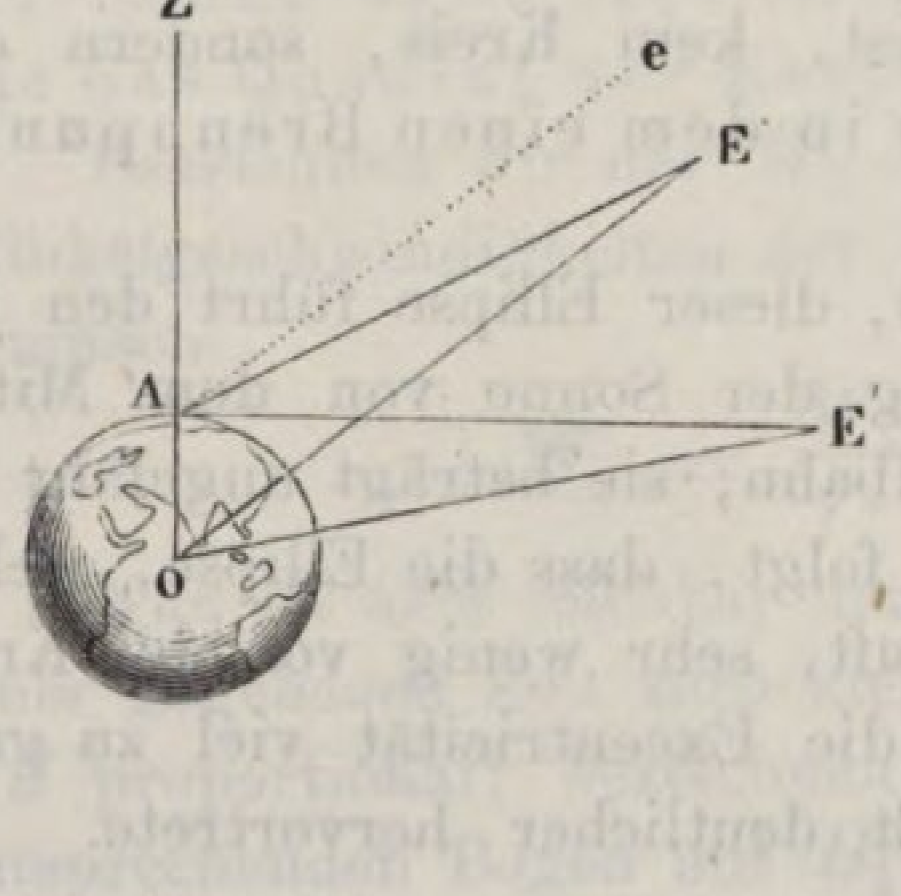
Die Absidenlinie macht einen Winkel von ungefähr 10 Grad mit der geraden Linie, welche die Solstitialpunkte verbindet.

Im Perihelium ist die fortschreitende Bewegung der Erde in ihrer Bahn am schnellsten, im Aphelium ist sie am langsamsten.

43 **Entfernung der Sonne von der Erde.** Wir haben bisher nur das Verhältniss betrachtet, in welchem die Entfernung der Sonne von der Erde im Laufe eines Jahres sich ändert, ohne dass von der absoluten Grösse dieser Entfernung die Rede gewesen wäre.

Zur Bestimmung der Entfernung eines Gestirns von der Erde werden dieselben Grundsätze in Anwendung gebracht, welche man auch anwendet, um die Entfernung eines unzugänglichen Punktes auf der Erde zu ermitteln. — Wenn man von einem Punkte A der Erdoberfläche aus ein Gestirn E, Fig. 77, beobachtet, so sieht man es nicht genau in derselben Richtung, als wenn man sich im Mittelpunkte O der Erde befände; OE oder die damit parallele Linie Ae macht einen kleineren Winkel mit der Verticalen OAZ als die Visirlinie AE. Der Winkel eAE oder der ihm gleiche Winkel AEO wird nun die Parallaxe des Gestirnes E genannt. Die Parallaxe ist also nichts Anderes als der Winkel, um welchen sich die Zenithdistanz des Gestirnes vermindern würde, wenn man vom Beobachtungsorte A zum Mittelpunkte der

Fig. 77.



Erde herabsteigen und von dort aus das Gestirn E beobachten könnte.

Die Parallaxe eines Gestirnes wird ein Maximum sein, wenn sich dasselbe in der Horizontalebene des Beobachtungsortes A befindet, wie E'. In diesem Falle wird die Parallaxe mit dem Namen der Horizontalparallaxe bezeichnet. Die Horizontalparallaxe eines Gestirnes ist der Winkel, unter welchem der Halbmesser der Erde, von jenem Gestirn aus gesehen, erscheint.

Ist der Durchmesser der Erde und die Horizontalparallaxe eines Gestirnes bekannt, so kann man daraus die Entfernung desselben von der Erde berechnen.

Da der Mittelpunkt der Erde unzugänglich ist, so kann die Horizontalparallaxe auch nicht unmittelbar gemessen werden. Um sie zu finden, muss man gleichzeitig die Zenithdistanz des Gestirnes mit grosser Genauigkeit an zwei Orten der Erde messen, welche bei nahe gleicher geographischer Länge möglichst weit von einander entfernt sind. Aus diesen Messungen lässt sich dann, wie wir bald sehen werden, die Horizontalparallaxe ableiten.

Je weiter ein Gestirn von der Erde entfernt ist, desto kleiner wird seine Parallaxe, und desto schwieriger wird es, sie mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, weil alsdann die unvermeidlichen Beobachtungsfehler einen viel zu bedeutenden Bruchtheil des gesuchten Werthes ausmachen und die geringste Verschiedenheit im Werthe der Horizontalparallaxe schon enorme Veränderungen im Werthe der Entfernung des Gestirnes nach sich zieht. Die Parallaxe der Sonne ist schon viel zu klein, als dass man sie auf dem angedeuteten Wege mit einer Genauigkeit ermitteln könnte, welche auch nur eine angenähert richtige Bestimmung der Entfernung der Sonne von der Erde zuliesse; nur auf indirectem Wege lässt sich diese für die Astronomie so wichtige Grösse mit hinreichender Genauigkeit bestimmen, und daher kommt es denn auch, dass man noch bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts ganz unrichtige Vorstellungen von der Entfernung der Sonne hatte.

Man nahm diese Entfernung früher stets zu klein an. Nach Pythagoras sollte die Sonne 16- bis 18 000 Meilen von der Erde entfernt sein. Aristarch von Samos bestimmte die Horizontalparallaxe der Sonne zu $3'$, wonach ihre Entfernung von der Erde 1146 Erdhalbmesser betragen würde. Kepler war geneigt, die fragliche Parallaxe auf $1'$ zu reduciren und Halley nahm sie nur zu $25''$. Alle diese Werthe waren aber noch zu gross.

Was nun die indirecten Methoden zur Bestimmung der Entfernung der Sonne von der Erde betrifft, so gründen sie sich darauf, dass man zunächst die Entfernung solcher Gestirne zu bestimmen sucht, welche entweder, wie der Mond, der Erde stets näher sind als die Sonne, oder welche, wie Mars und Venus, wenigstens in gewissen Zeiten ihr näher kommen, und alsdann von diesen auf die Entfernung der Sonne schliesst.

Wie wir im fünften Capitel sehen werden, ist der Mond sehr nahe um 60 Erdhalbmesser von dem Mittelpunkte der Erde entfernt. Wenn man nun in dem Moment, in welchem der Mond gerade das erste oder letzte Viertel zeigt, wo also die Gränze zwischen dem erleuchteten und dem dunklen Theile des Mondes genau eine gerade Linie bildet, den Winkelabstand zwischen Sonne und Mond misst, so hat man damit die nöthigen Data, um die Entfernung der Sonne von der Erde zu berechnen. In Fig. 78 sei T die Erde, L der Mond, S die Sonne. In dem besprochenen Zeitpunkte steht die Linie SL rechtwinklig auf LT; da man nun den Winkel STL, den wir mit β bezeichnen wollen, gemessen hat, so ergiebt sich

$$TS = \frac{LT}{\cos. \beta}.$$

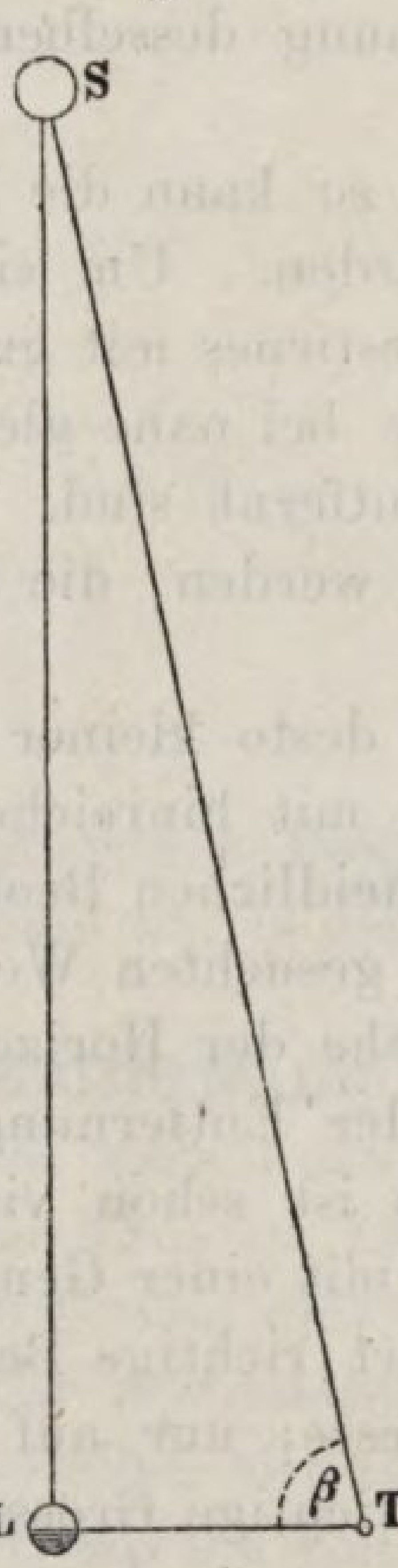


Fig. 78.

Auf diesem Wege hat in der That Riccioli die Entfernung der Sonne von der Erde annähernd genau bestimmt; einer grösseren Schärfe ist jedoch diese Methode nicht fähig, weil man nicht mit grosser Genauigkeit den Augenblick ermitteln kann, wo jene Lichtgränze des Mondes eine gerade Linie ist.

Hat man die Horizontalparallaxe des Mars oder der Venus, also die Entfernung dieser Planeten von der Erde, zur Zeit ihrer Erdnähe ermittelt, so kann man mit Hülfe der im nächsten Capitel zu besprechenden Kepler'schen Gesetze die Entfernung der Sonne berechnen. Nach dieser Methode wurde in der That die Entfernung der Sonne angenähert richtig bestimmt. Die Vergleichung der Marsbeobachtungen, welche Richer auf der bereits auf Seite 67 erwähnten Reise angestellt hatte, mit den gleichzeitigen Observationen von Picard und Römer in Paris, ergab für den Mars eine Parallaxe von 25,5″, woraus für die Sonnenparallaxe ein Werth von 9,5 Secunden folgt. Aus später beobachteten Marsoppositionen wurden noch grössere Werthe der Sonnenparallaxe (10″ ja 10,7″) berechnet.

Im Jahre 1862 hat man den Mars zur Zeit seiner Opposition auf verschiedenen Sternwarten der nördlichen und südlichen Hemisphäre (Pulkawa, Greenwich, Washington, Cap der guten Hoffnung, Santiago di Chili u. s. w.) auf das Sorgfältigste beobachtet. Aus der Discussion dieser Meridianbeobachtungen des Mars hat nun der amerikanische Astronom Newcomb den Werth der Sonnenparallaxe zu 8,855 Secunden abgeleitet.

Im Jahre 1691 hatte Halley darauf aufmerksam gemacht, dass die seltene, im nächsten Capitel näher zu besprechende Erscheinung eines

Vorüberganges der Venus vor der Sonnenscheibe ein Mittel bietet, die Parallaxe der Sonne weit genauer zu bestimmen, als nach den bisher besprochenen Methoden. Mit Ungeduld erwartete man deshalb die nächste ekliptische Conjunktion dieses Planeten, welche am 5. Juni 1761 stattfand, und aus deren Beobachtung sich ein zwischen 8″ und 9″ liegender Werth für die Sonnenparallaxe ergab.

Der nächste Venusdurchgang, welcher am 3. Juni 1769 stattfand, wurde mit möglichster Genauigkeit an verschiedenen möglichst vortheilhaft gelegenen Orten der Erde beobachtet. Aus einer Combination aller damals gemachten zuverlässigen Beobachtungen leitete Encke 8,6″ als den Werth der Horizontalparallaxe der Sonne ab.

Nehmen wir 8,6″ für den mittleren Werth der Horizontalparallaxe der Sonne, so ist der Abstand der Sonne von der Erde gleich

$$\frac{1}{tang\ 8{,}6''} = \frac{1}{0{,}00004169} = 24\,000 \text{ Erdhalbmessern.}$$

Aus dem oben mitgetheilten Werthe der Excentricität der Erdbahn ergiebt sich dann, dass die Entfernung der Erde von der Sonne im Perihelium 23 600, im Aphelium aber 24 400 Erdhalbmesser beträgt.

Da der Erdhalbmesser gleich 860 geographischen Meilen ist (S. 62), beträgt demnach die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde in runder Zahl 20 Millionen geographische Meilen.

Spätere Berechnungen haben einen etwas grösseren Werth für die Sonnenparallaxe ergeben und zwar im Mittel 8,915″, wonach dann der mittlere Abstand der Erde von der Sonne gleich 19 884 000 Meilen ist.

Um diesen Raum zu durchlaufen, würde eine Kanonenkugel (1000′ Geschwindigkeit in der Secunde) eine Zeit von 12 Jahren brauchen.

Dimensionen der Sonne. Nach §. 38 erscheint uns der Durchmesser der Sonne, wenn sie sich in ihrer mittleren Entfernung von der Erde befindet, unter einem Winkel von 32′ 3,3″ oder 1923,3″, während umgekehrt, dem vorigen Paragraphen zufolge, die Erde von der Sonne aus gesehen, nur unter einem Winkel von 17,2″ erscheint. Der Durchmesser der Sonne ist demnach $\frac{1923{,}3}{17{,}2}$, also 112mal so gross als der Durchmesser der Erde. 44

Daraus folgt dann weiter, dass der körperliche Inhalt der Sonne 1 404 928mal grösser ist, als das Volumen der Erde.

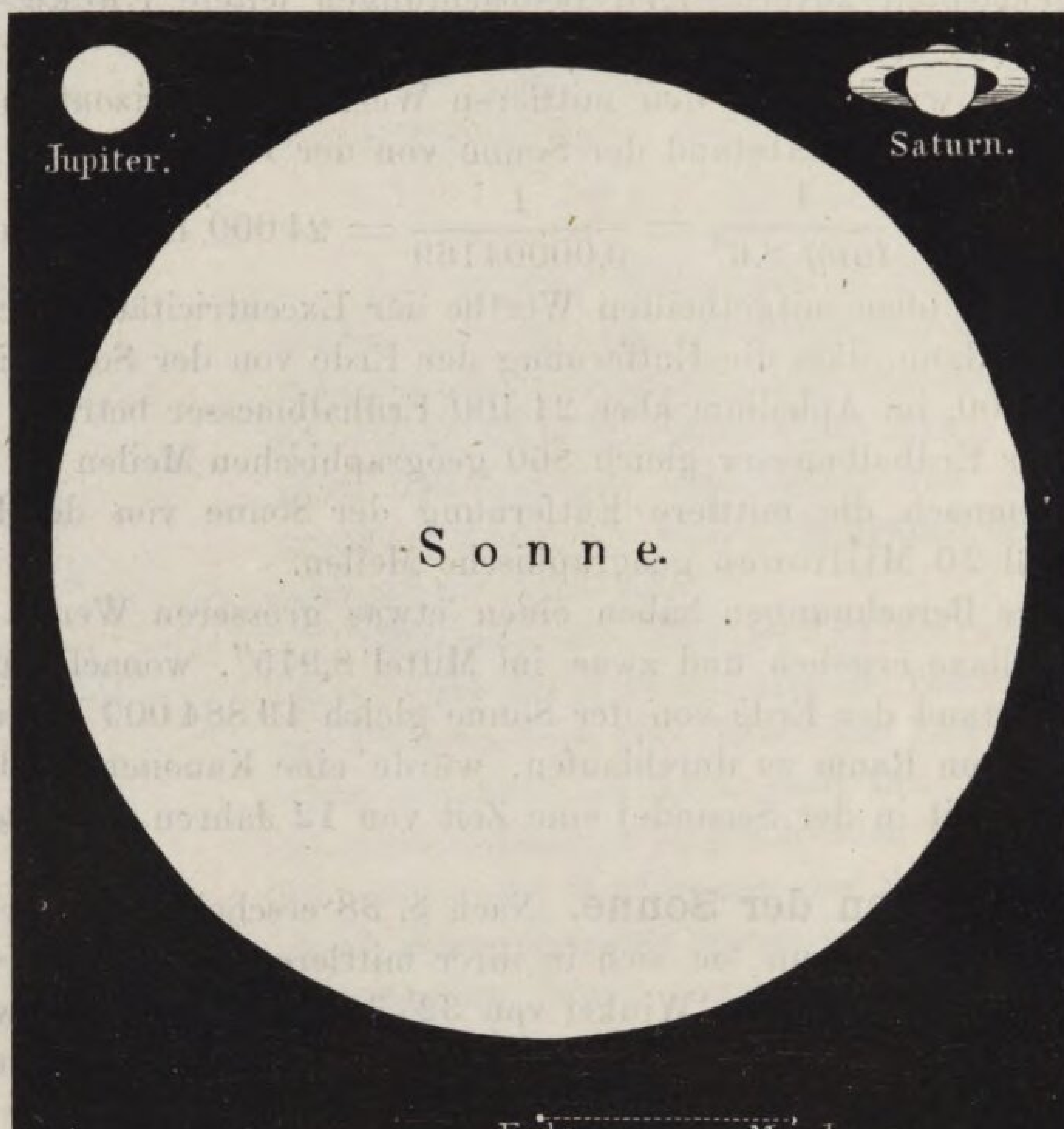
Der Durchmesser der Sonne beträgt 190 000, der Umfang derselben nahezu 580 000 geographische Meilen.

Die Fig. 79 (a. f. S.) dient dazu, eine Vorstellung von dem Grössenverhältniss der Sonne und der Erde zu geben. Unterhalb des grossen weissen Kreises, welcher die Sonne darstellt, befindet sich ein ganz kleiner weisser Kreis, welcher die Erde im richtigen Verhältniss zur Sonne darstellt. Rechts von der Erde sieht man in verhältnissmässiger Entfernung den Mond. Man sieht, dass eine Kugel, deren Halbmesser die Ent-

fernung des Mondes von der Erde ist, kaum mehr als den halben Radius der Sonne haben würde. Wenn also die Sonne hohl wäre und die Erde sich in ihrem Mittelpunkte befände, so könnte der Mond in seiner jetzigen Entfernung von der Erde noch um dieselbe kreisen, und würde doch der äusseren Sonnenhülle nur unbedeutend näher sein als ihrem Mittelpunkte.

Die Mittelpunkte der beiden Kreise, welche in Fig. 79 Sonne und Erde im richtigen Grössenverhältniss darstellen, müssten in eine Entfer-

Fig. 79.



nung von 16,5 Metern gebracht werden, wenn diese Entfernung sich zu dem Durchmesser der weissen Scheibe in Fig. 79 ebenso verhalten sollte wie die Entfernung der Erde von der Sonne zum Durchmesser der Sonne.

In den oberen Ecken der Fig. 79 sieht man noch im richtigen Grössenverhältniss die Planeten Jupiter und Saturn dargestellt, von welchen später die Rede sein wird.

Tab. 3.

Fig. 1.

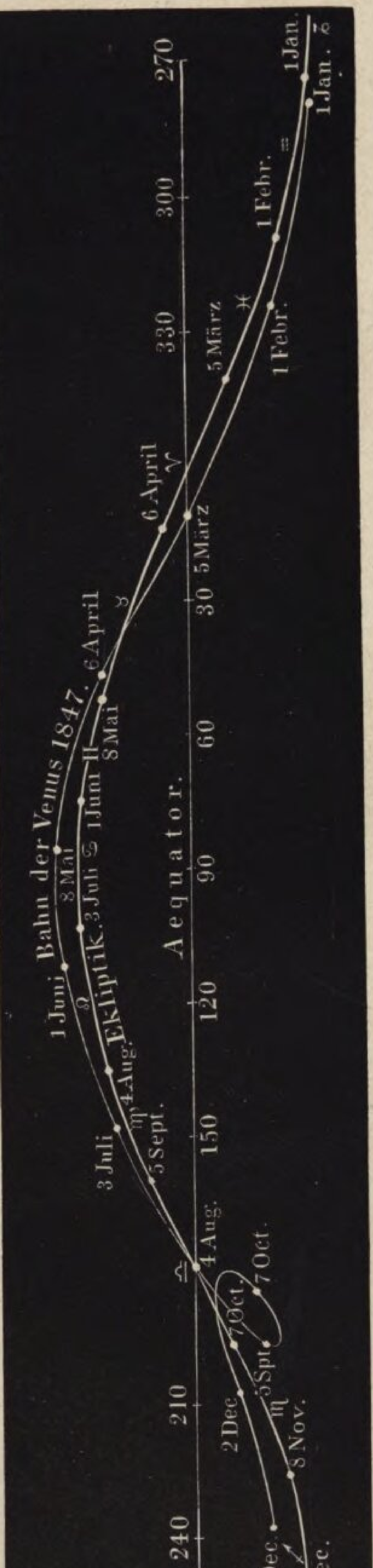
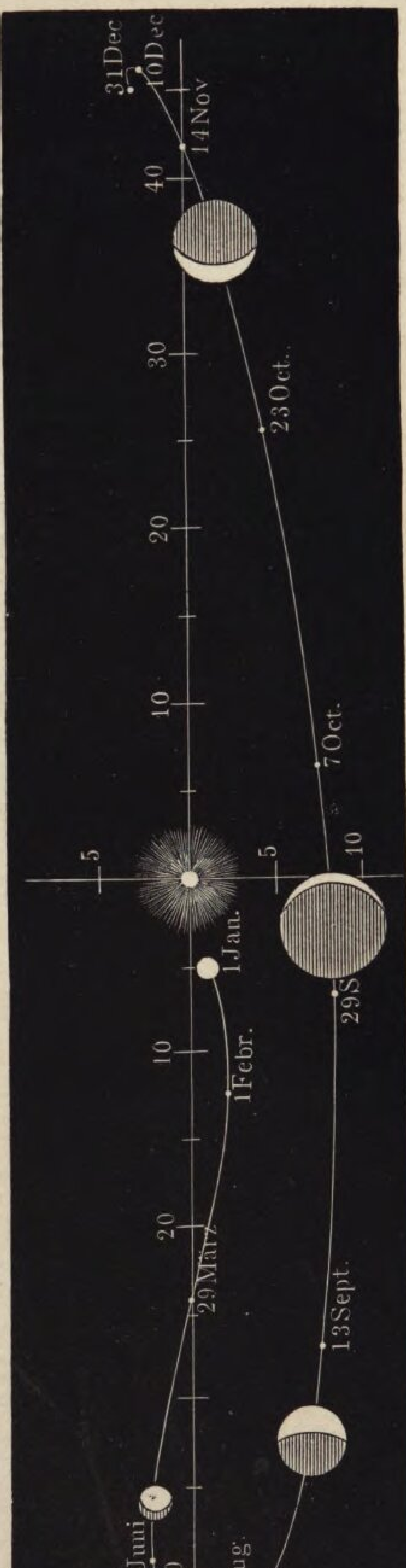


Fig. 2.



Viertes Capitel.

Die Planeten.

Scheinbare Bewegung der Planeten. Ausser der Sonne 45
und dem Monde giebt es noch andere Gestirne, welche zwar im Ansehen den Fixsternen ähnlich, dennoch ihre Stellung unter denselben fortwährend ändern, und deshalb Wandelsterne oder Planeten genannt werden.

Den Alten waren nur diejenigen Planeten bekannt, welche mit blossem Auge sichtbar sind. Es sind deren fünf: Mercur ☿, Venus ♀, Mars ♂, Jupiter ♃ und Saturn ♄.

Die Bahnen dieser älteren Planeten liegen der Sonnenbahn so nahe, dass sie sich nur um einige Grade nördlich oder südlich von der Ekliptik entfernen. Die Gestalt dieser Bahnen ist aber weit verwickelter als die der Sonnenbahn, wie man sich aus der Betrachtung von Fig. 1 Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5 und Tab. 6 überzeugen kann.

Fig. 1 Tab. 3 stellt die Bahn der Venus im Jahre 1847 dar. Vom 1. Januar bis zum 5. September erscheint sie noch ziemlich einfach; die Venus bewegte sich während dieser Zeit wie die Sonne von West nach Ost und ihre Bahn ist der Sonnenbahn ziemlich ähnlich; dann aber bildet sie, eine Zeitlang sich in entgegengesetzter Richtung, d. h. von Ost nach West bewegend, eine förmliche Schleife.

Aehnliche Erscheinungen bieten alle Planeten. Im grössten Theil ihrer Bahn bewegen sie sich von West nach Ost, sie sind dann rechtläufig, während eine kürzere Zeit hindurch ihre Bewegung die entgegengesetzte Richtung hat, d. h. rückläufig ist.

Bei dem kleinen Maassstabe der Fig. 1 auf Tab. 3, ist natürlich keine grosse Genauigkeit möglich, deshalb ist ein Theil der Venusbahn des Jahres 1847, und zwar gerade derjenige, welcher die Schleife enthält, auf Tab. 4, in grösserem Maassstabe dargestellt.

Auf Tab. 5 findet man die scheinbare Bahn des Saturn für die Jahre 1852 und 1853. Dieselbe Figur zeigt auch ein Stück der Mercursbahn von 1852.

Ein Planet erscheint stationär zur Zeit, wo seine rechtläufige Bewegung in eine rückläufige, oder umgekehrt die rückläufige Bewegung wieder in die rechtläufige übergeht; denn in dieser Zeit sind die Ortsveränderungen der Planeten sehr unbedeutend.

Den Winkelabstand eines Planeten von der Sonne nennt man seine Elongation.

Zwei der genannten Planeten, Mercur und Venus, entfernen sich nie weit von der Sonne. Für den Mercur ist die grösste Elongation 22^0, für die Venus kann sie bis auf 48^0 wachsen. Deshalb sind diese beiden, welche die unteren Planeten genannt werden, auch nur kurz vor Sonnenaufgang am östlichen, oder nach Sonnenuntergang am westlichen Himmel sichtbar.

Die übrigen Planeten, welche die oberen Planeten genannt werden, können sich dagegen um alle Winkeldistanzen von der Sonne entfernen.

Wenn ein Planet gleiche Rectascension mit der Sonne oder mit einem anderen Planeten hat, wenn sie also zusammen durch den Meridian gehen, so sagt man, sie seien in Conjunction, und bezeichnet dies durch ☌. Wenn man z. B. in einem astronomischen Jahrbuche findet, dass für den 10. Juli 1854 ♀ ☌ ♄, so heisst dass, dass an dem genannten Tage Venus und Saturn in Conjunction sind, also (fast) gleichzeitig durch den Meridian gehen.

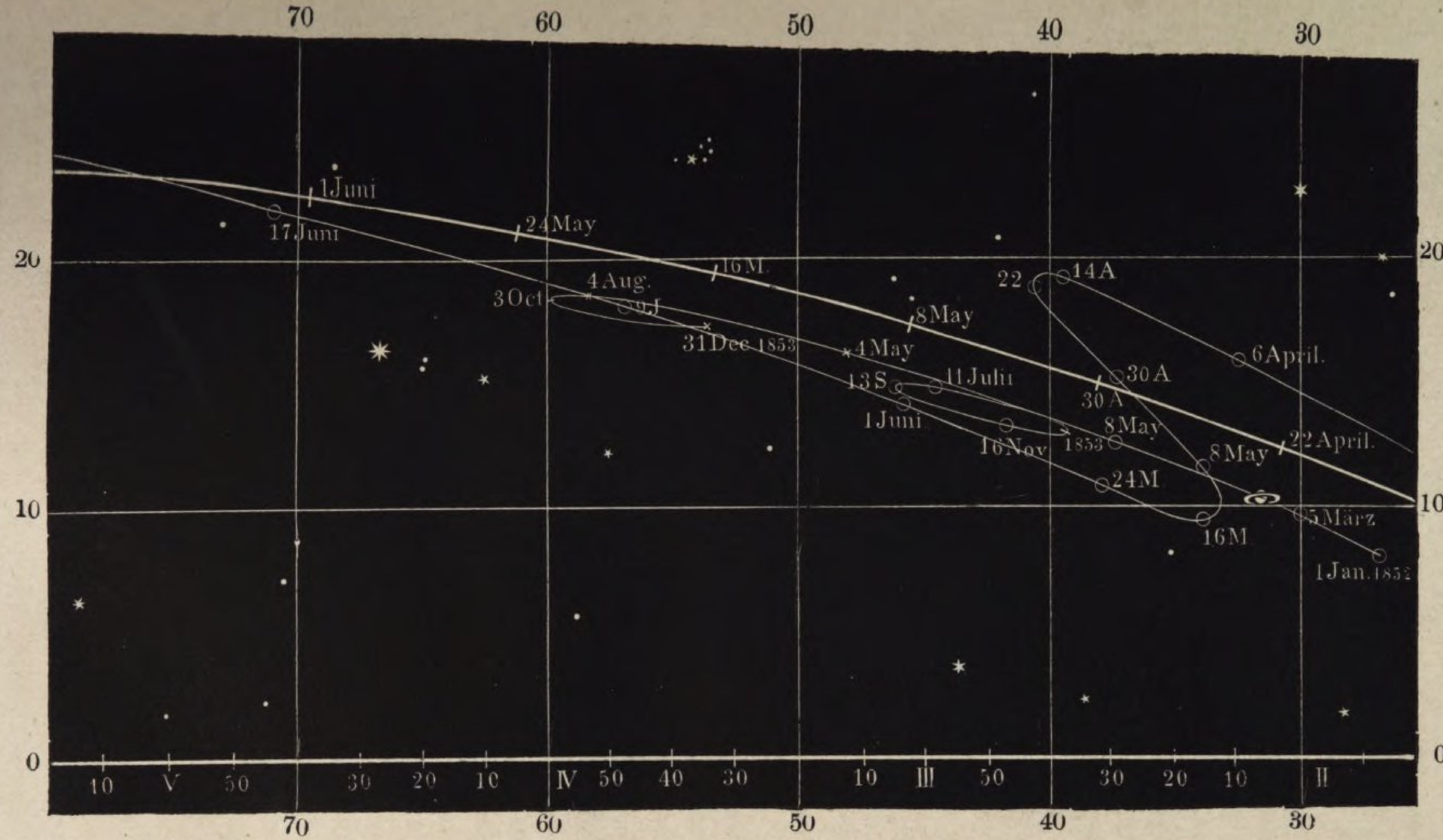
Wenn ein Planet um 90^0 von der Sonne absteht, so sagt man, er sei mit der Sonne in Quadratur, und bezeichnet dies durch □. So war z. B. für den 8. September 1854 ♄ □ ☉ d. h. an diesem Tage stand Saturn um 90^0 von der Sonne ab, die Differenz in der Culminationszeit der Sonne und des Saturn betrug also 6 Stunden.

Wenn ein Planet um 180^0 von der Sonne absteht, so dass er um Mitternacht culminirt, so sagt man, dass er in Opposition sei, und bezeichnet dies durch ☍. Am 15. Juli 1854 war ♃ ☍ ☉.

Nur die oberen Planeten können, dem oben Gesagten zufolge, mit der Sonne in Quadratur und in Opposition kommen; Mercur und Venus niemals. Dagegen unterscheidet man bei den unteren Planeten eine obere und eine untere Conjunction. Die erstere findet Statt, wenn der Planet in rechtläufiger Bewegung die Sonne passirt, wenn er also von ihrer Westseite auf die Ostseite derselben tritt; die untere Conjunction dagegen ist diejenige, bei welcher der Planet in rückläufiger Bewegung an der Sonne vorbeizieht.

Betrachten wir den Lauf der Planeten näher, so bemerken wir, dass die Abwechselung zwischen recht- und rückläufiger Bewegung in enger Beziehung zur Constellation der Planeten mit der Sonne steht. Die rechtläufige Geschwindigkeit ist für die oberen Planeten zur Zeit der Conjunction, für die unteren zur Zeit der oberen Conjunction

Tab. 5.



Bahn des Saturn in den Jahren 1852 und 1853 und des Mercur vom 6. April bis zum 17. Juni 1852.

ein Maximum; dagegen ist die rückläufige Bewegung am schnellsten zur Zeit der Opposition bei den oberen, und der unteren Conjunction bei den unteren Planeten.

Die Bildung der Schleifen in den Planetenbahnen ist also an einen bestimmten Cyclus gebunden, sie wiederholt sich, so oft der Planet mit der Sonne in Opposition oder untere Conjunction kommt. Die Zeit von einer Oppostion oder unteren Conjunction bis zur nächsten, also gewissermaassen ein scheinbarer Umlauf des Planeten in Beziehung auf die Sonne, wird die synodische Revolution oder die synodische Umlaufszeit genannt; sie hat für die einzelnen Planeten folgende Werthe:

Mercur . . .	115	Tage	21	Stunden
Venus . . .	583	„	22	„
Mars . . .	780	„	0	„
Jupiter . . .	398	„	22	„
Saturn . . .	378	„	2	„

Für die Venus beträgt also die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden unteren Conjunctionen ungefähr 1 Jahr und 7 Monate, für den Mars beträgt die Zeit von einer Opposition bis zur nächsten beinahe 2 Jahre und 2 Monate.

Ferner sehen wir, dass die Planetenbahnen theilweise nördlich, theilweise südlich von der Ekliptik liegen. Das Stück der Saturnsbahn, welches auf Tab. 5. verzeichnet ist, liegt zwar ganz auf der Südseite der Sonnenbahn, allein im Laufe des Jahres 1857 ging er auf die Nordseite derselben über.

Die Punkte, in welchen eine Planetenbahn die Sonnenbahn schneidet, werden die Knoten genannt, und zwar ist der aufsteigende Knoten (☊) derjenige, in welchem der Planet von der Südseite der Ekliptik auf die Nordseite übertritt, während der Punkt, in welchem die bis dahin nördliche Breite des Planeten in eine südliche übergeht, mit dem Namen des niedersteigenden Knotens (☋) bezeichnet wird.

Die Zeit zwischen je zwei auf einander folgenden Durchgängen eines Planeten durch den aufsteigenden Knoten wird die siderische Umlaufszeit des Planeten genannt. Die folgende Tabelle enthält (jedoch nur bis auf Stunden genau) die siderische Umlaufszeit für die mit blossem Auge sichtbaren Planeten:

Mercur			87	Tage	23	Stunden,	
Venus			224	„	17	„	
Mars	1	Jahr	321	„	22	„	
Jupiter . . .	11	„	315	„	14	„	
Saturn . . .	29	„	161	„	22	„	

Die nächsten Durchgänge der Venus durch den aufsteigenden Knoten finden Statt:

am 30. März 1871,
am 10. November 1871.

Mars passirt zunächst den niedersteigenden Knoten:

am 2. Juli 1871,

den aufsteigenden Knoten:

am 1. Mai 1872.

Der letzte Durchgang des Jupiter durch den aufsteigenden Knoten fand am 29. August 1859 Statt; der nächste wird am 8. Juli 1871 stattfinden.

Am 9. November 1857 passirte Saturn den aufsteigenden Knoten und am 10. Dezember 1872 wird er durch den niedersteigenden Knoten gehen.

Die Knoten einer Planetenbahn fallen nicht immer auf dieselbe Stelle der Ekliptik, wohl aber liegt die Stelle, in welcher die Planetenbahn die Sonnenbahn schneidet, nicht sehr weit von demjenigen Punkte, in welchem die vorige gleichgerichtete Durchschneidung stattfand. Die siderische Umlaufszeit giebt uns also wenigstens annäherungsweise auch die Zeit, welche der Planet braucht, um scheinbar das ganze Himmelsgewölbe zu umlaufen, und so giebt uns denn die siderische Umlaufszeit einen Anhaltspunkt, um zu beurtheilen, wie schnell sich im Allgemeinen die einzelnen Planeten am Himmel fortbewegen. Mercur braucht, um seinen Umlauf durch den ganzen Thierkreis zu vollenden, ungefähr drei Monate; er verändert also seine Stellung am Himmel schneller als alle anderen Planeten. Die Geschwindigkeit der Ortsveränderung unter den Sternen nimmt in dem Maasse ab, als die Umlaufszeit des Planeten grösser wird. Jupiter schreitet im Laufe eines ganzen Jahres nur um ungefähr 30^0 unter den Gestirnen weiter, Saturn nur um 12^0.

Um den scheinbaren Lauf der Planeten gehörig zu studiren, ist nichts mehr geeignet als denselben auf Sternkarten in der Art zu verfolgen, wie es auf Tab. 4, 5 und 6 für einzelne Fälle geschehen ist. Dazu ist nun die eine der schon oben besprochenen, bei Wagner in Freiburg erschienenen Sternkarten, nämlich die Karte der Aequatorealzone des gestirnten Himmels besonders geeignet. Es sind solche Karten durch den Buchhandel zu beziehen, in welchen die Bahn der Venus für die Jahre 1857, 1858 und 1859, und zwar für jedes Jahr mit anderen Farben aufgetragen ist. Auf anderen Exemplaren dieser Karten ist die Bahn des Jupiter für 1857 bis 1860, die des Saturn für 1859 bis 1861 und die Bahn der Oppositionsperiode des Mars in den Jahren 1858 und 1860 aufgezeichnet.

46 **Die scheinbare Bahn des Mars während seiner nächsten Oppositionsperiode.** Um die scheinbare Bahn eines Planeten am Himmel selbst zu verfolgen, ist keiner geeigneter als der Mars. Von Mercur kann in dieser Beziehung gar nicht die Rede sein, weil er bei uns überhaupt kaum sichtbar wird. Venus glänzt zwar herrlich am Morgen- oder Abendhimmel, sie legt in kurzer Zeit eine grosse Bahn am Himmelsgewölbe zurück, allein man kann diese Bahn unter den Fixster-

nen nicht verfolgen, weil Venus nur in der Dämmerung erscheint, also zu einer Zeit, in welcher kaum Sterne erster Grösse in ihrer Nähe sichtbar werden. Jupiter und Saturn erscheinen allerdings am vollen Nachthimmel, ihre Bewegung unter den Fixsternen ist aber bei weitem nicht so rasch und auffallend wie die des Mars.

Die nächste Periode, welche sich zur Verfolgung der scheinbaren Bahn des Mars bietet, ist nun die vom October 1870 bis in den August 1871, welche wir jetzt etwas näher besprechen wollen.

Am 12. März 1870 sind Sonne und Mars in Conjunction, an diesem Tage gehen also diese beiden Gestirne fast gleichzeitig durch den Meridian, Mars kann also nicht gesehen werden.

Sonne und Mars schreiten nun in ihrer scheinbaren Bahn am Himmelsgewölbe von West nach Ost voran, weil aber die Sonne in dieser Richtung rascher voranschreitet als Mars, so wird sich Mars mehr und mehr nach Westen hin von der Sonne entfernen, er wird also früher aufgehen als die Sonne und zwar nach einiger Zeit um 1, um 2, um 3 u. s. w. Stunden, der Mars wird also wieder sichtbar, wenn er noch vor anbrechender Morgendämmerung am östlichen Himmel aufgeht, er wird also zuerst in den Morgenstunden wieder sichtbar. Es findet dies zunächst wieder Statt im Mai 1870.

Der Aufgang des Mars findet im Jahre 1870 Statt:

am	6. Mai	um	4	Uhr	Morgens,
„	31. „	„	3	„	„
„	30. Juni	„	2	„	„
„	26. August	„	1	„	„
„	30. November	um Mitternacht,			

im Jahre 1871 findet der sichtbare Aufgang des Mars Statt:

am	1. Januar	um	11^h	11^m	Abends,
„	15. „	„	10	37	„
„	1. Februar	„	9	47	„
„	15. „	„	8	50	„
„	1. März	„	7	41	„
„	15. „	„	6	19	„

Von da an findet der Aufgang des Mars schon bei Tage Statt. Der Weg, welchen Mars vom 24. October 1870 an am gestirnten Himmel durchläuft, ist auf Tab. 6 dargestellt. Am 24. October 1870 erblickt man ihn etwas nördlich von Regulus, nach Osten hin fortschreitend entfernt er sich aber rasch von diesem Hauptstern des grossen Löwen, wie man aus der Figur ersieht, in welcher die Positionen des Mars für den 12. November, den 2. und den 28. December markirt sind. Ohngefähr in der Mitte des December 1870 geht Mars etwas nördlich vom Stern β virginis vorbei; am 4. Januar 1871 geht er nördlich über η virginis weg und nun wird seine rechtläufige Bewegung nach und

nach langsamer, um am 9. Februar 1871 in der Nähe des Sternes γ virginis die Gränze seiner rechtläufigen Bewegung zu erreichen und nun rückläufig zu werden.

Zunächst ist die rückläufige Bewegung des Mars eine langsame, alsbald aber wird sie rascher, um am 21. März das Maximum ihrer Geschwindigkeit zu erlangen.

Jetzt ist Mars in Opposition mit der Sonne, er culminirt um Mitternacht.

In seiner rückläufigen Bewegung geht er nun wieder nördlich über β virginis vorbei und erreicht die Gränze seiner rückläufigen Bewegung am 2. Mai, an welchem Tage Mars wieder sehr nahe an derselben Stelle steht, welche er am 4. December 1870 einnahm.

Von nun an bewegt sich Mars wieder rechtläufig, bis er in den Strahlen der Sonne verschwindet. Ende Mai geht er dicht über β virginis vorüber, läuft dann südlich von η und γ virginis vorbei, um gegen Ende Juli die Spica, den Hauptstern des Sternbildes der Jungfrau zu erreichen.

Zu Anfang Juni 1871 culminirt Mars um 8 Uhr Abends und geht um 1 Uhr Nachts unter, er ist nun für den Rest seiner Sichtbarkeit im Jahre 1871 in den Abendstunden am westlichen Himmel sichtbar; seine Culmination und sein Untergang rücken aber immer mehr zurück. Am 26. Juli geht er um Mitternacht, am 25. Juli geht er schon um $10^1/_2$ Uhr unter, zur Zeit also, in welcher Mars in die Nähe der Spica kommt, ist er nur noch kurze Zeit nach einbrechender Dunkelheit sichtbar, um gegen Ende August ganz in den Strahlen der Sonne zu verschwinden.

So wird also Mars vom Anfang Mai 1870 bis zur Mitte August 1871 und zwar von Beginn des Jahres 1871 in den Abendstunden sichtbar sein, man kann also bei sternhellem Himmel während dieser langen Zeit seine Stellung beobachten und mit der auf Tab. 6 verzeichneten vergleichen.

Die darauf folgende Sichtbarkeitsperiode des Mars fällt in das Jahr 1873 und zwar kommt

♂ □ ☉ 17. Januar 1873,
♂ stationär und wird rückläufig am 21. März 1873,
♂ ☍ ☉ am 27. April 1873,
♂ wird stationär und rechtläufig am 7. Juni 1873,
♂ □ ☉ am 11. August 1873.

Der Weg, welchen Mars im Jahre 1873 in rückläufiger Richtung durchläuft, liegt zwischen den Punkten

rect. asc. $14^h\ 53{,}5^m$ und decl. $14^0\ 35'$

(ein Punkt der in der Nähe von α librae etwas östlich von der Verbindungslinie zwischen α und β librae liegt) und

rect. asc. $13^h\ 42{,}5^m$, decl. $11^0\ 23'$

(ein Punkt der auf der Verbindungslinie zwischen α und λ virginis etwas westlich von der Mitte zwischen diesen beiden Sternen liegt) der erstere

Tab. 6.


Bahn des Mars
vom 24. October 1870
bis zum 9. Juli 1871.
Ekliptik 13
Aequator.
21 Oct.
20 Aug.
28 Aug.
12 Nov.
5 Sept.
2 Dec.
28 D.
21 Mz.
16 Jn.
21
29
9 F.
9 Jul.
7 Oct.
29 J.
15 Oct.
150
160
170
180
190
200
10
0
10

Theil des rückläufigen Weges fällt also in das Sternbild der Wage, der letzte kleinere in das Sternbild der Jungfrau.

Venus erscheint zunächst wieder als Abendstern im Sommer und als Morgenstern in den letzten Monaten des Jahres 1871.

Die nächste Opposition des Jupiter findet in den letzten Tagen des Jahres 1870, die nächste Schleifenbildung des Jupiter findet also im Winter $18^{70}/_{71}$ Statt und zwar im Sternbild der Zwillinge, während Saturn, welcher um jene Zeit im Sternbild des Schützen stehen wird, zunächst am 28. Juni 1871 mit der Sonne in Opposition kommt.

Auf den Verlauf der nächsten Sichtbarkeitsperioden werden wir bei Besprechung der einzelnen Planeten noch einmal zurückkommen.

Veränderlichkeit im Glanz und der Grösse der Planeten. 47 Die Helligkeit der Planeten ist sehr veränderlich; am geringsten ist sie stets zur Zeit der Conjunction, und bei den unteren Planeten zur Zeit der oberen Conjunction. Je mehr sich nun der Planet scheinbar von der Sonne entfernt, desto grösser wird sein Glanz, welcher bei den oberen Planeten sein Maximum zur Zeit der Opposition erreicht.

Wenn die Venus nach der oberen Conjunction sich ostwärts von der Sonne entfernt, so nimmt ihr Glanz fortwährend zu, bis sie ihre grösste Elongation passirt und sich der Sonne wieder bis auf 40° genähert hat. In dieser Stellung ist ihr Glanz ein Maximum; darauf nimmt er ab bis zur unteren Conjunction, und wächst dann wieder, bis die Venus sich um 40° auf der Westseite von der Sonne entfernt hat, wo dann der Glanz abermals ein Maximum wird.

Aehnlich sind die Variationen im Glanze des Mercur, welcher aber überhaupt schwer sichtbar ist, weil er immer sehr nahe bei der Sonne bleibt.

Diese Veränderungen des Glanzes hängen mit den Variationen der scheinbaren Durchmesser der Planeten zusammen. Der Winkel, unter welchem die verschiedenen Planeten erscheinen, ist folgender:

	Zur Zeit der oberen Conjunct.	Zur Zeit der unteren Conjunct.
Mercur	4″	12″
Venus	9,3	64
	Conjunction	Opposition
Mars	4″	27″
Jupiter	30	49
Saturn	15	21

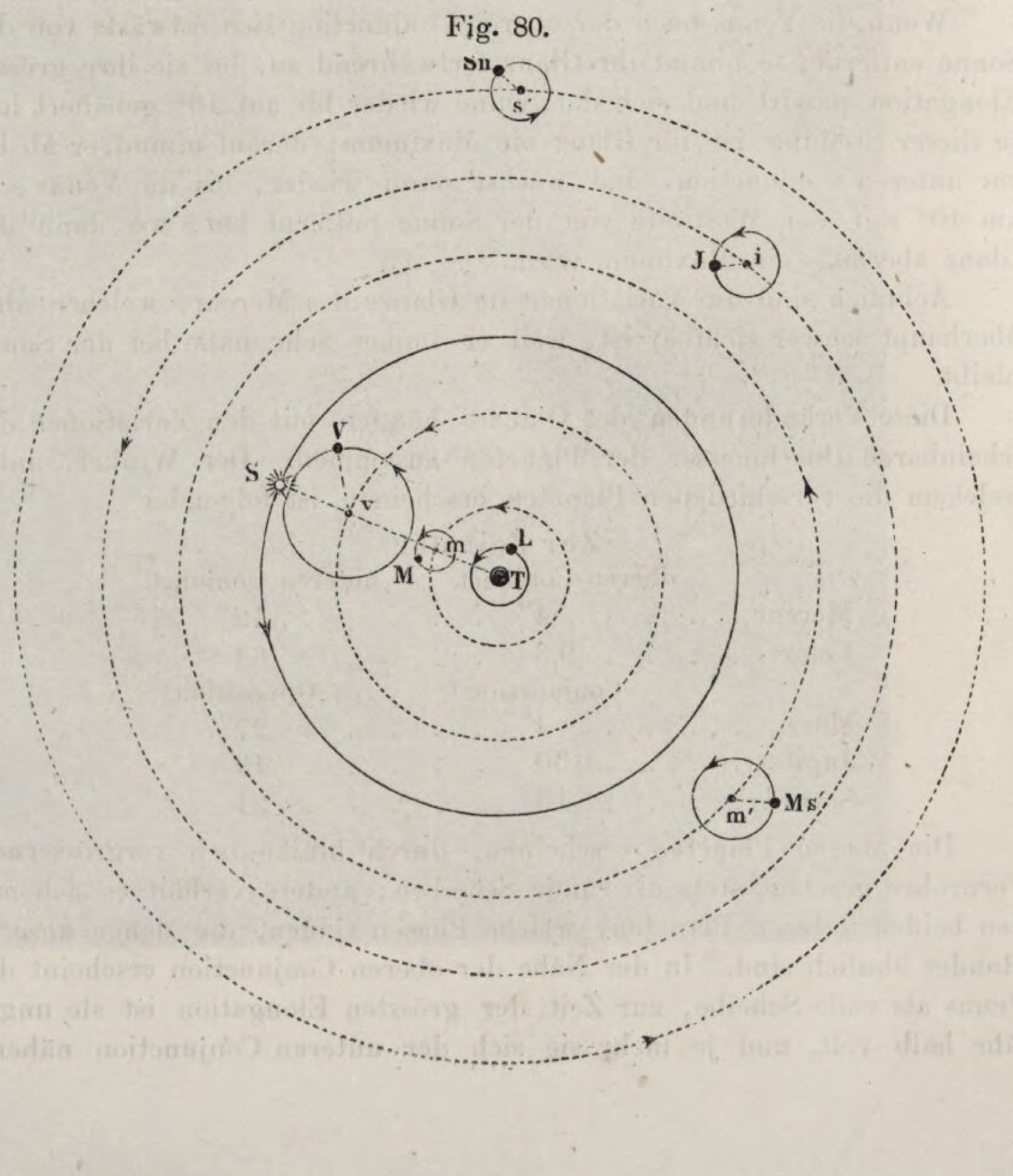
Die oberen Planeten erscheinen, durch hinlänglich vergrössernde Fernrohre gesehen, stets als runde Scheiben; anders verhält es sich mit den beiden unteren Planeten, welche Phasen zeigen, die denen unseres Mondes ähnlich sind. In der Nähe der oberen Conjunction erscheint die Venus als volle Scheibe, zur Zeit der grössten Elongation ist sie ungefähr halb voll, und je mehr sie sich der unteren Conjunction nähert,

desto mehr wird sie sichelförmig, während zugleich ihr Durchmesser wächst, wie dies Fig. 2 auf Tab. 3 zeigt.

Mit blossem Auge sind die Phasen der Venus nicht sichtbar; sie wurden von Galiläi mit dem von ihm construirten Fernrohre entdeckt. Wir werden später diesen Punkt noch ausführlicher besprechen.

48 **Das Ptolemäische Planetensystem.** Einer der Ersten, welche es versuchten, die scheinbaren Bahnen der Planeten zu erklären, war Ptolemäus, welcher in der Mitte des zweiten Jahrhunderts unserer Zeitrechnung zu Alexandrien lebte. Er stellte die Erde in die Mitte des Weltalls und um sie sollten dann der Mond, die Sonne und die fünf damals bekannten Planeten kreisen, und zwar ordnete er sie nach ihrer mittleren scheinbaren Geschwindigkeit so, dass diejenigen, welche schneller ihren Ort unter den Fixsternen ändern, die der Erde näheren sein sollten; von der Erde ausgehend, folgten sich demnach die Planeten sammt Mond und Sonne in folgender Ordnung: Mond, Mercur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn. Fig. 80 stellt die Grundidee des Ptolemäischen Systems dar.

Fig. 80.



Die Alten unterschieden zweierlei Ungleichheiten im Laufe der Planeten.

Die erste Ungleichheit besteht darin, dass die Planeten sich keineswegs mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegen, dass sie bald schneller, bald langsamer in ihrer Bahn voranschreiten, wie wir dies auch schon bei der Sonne gesehen haben.

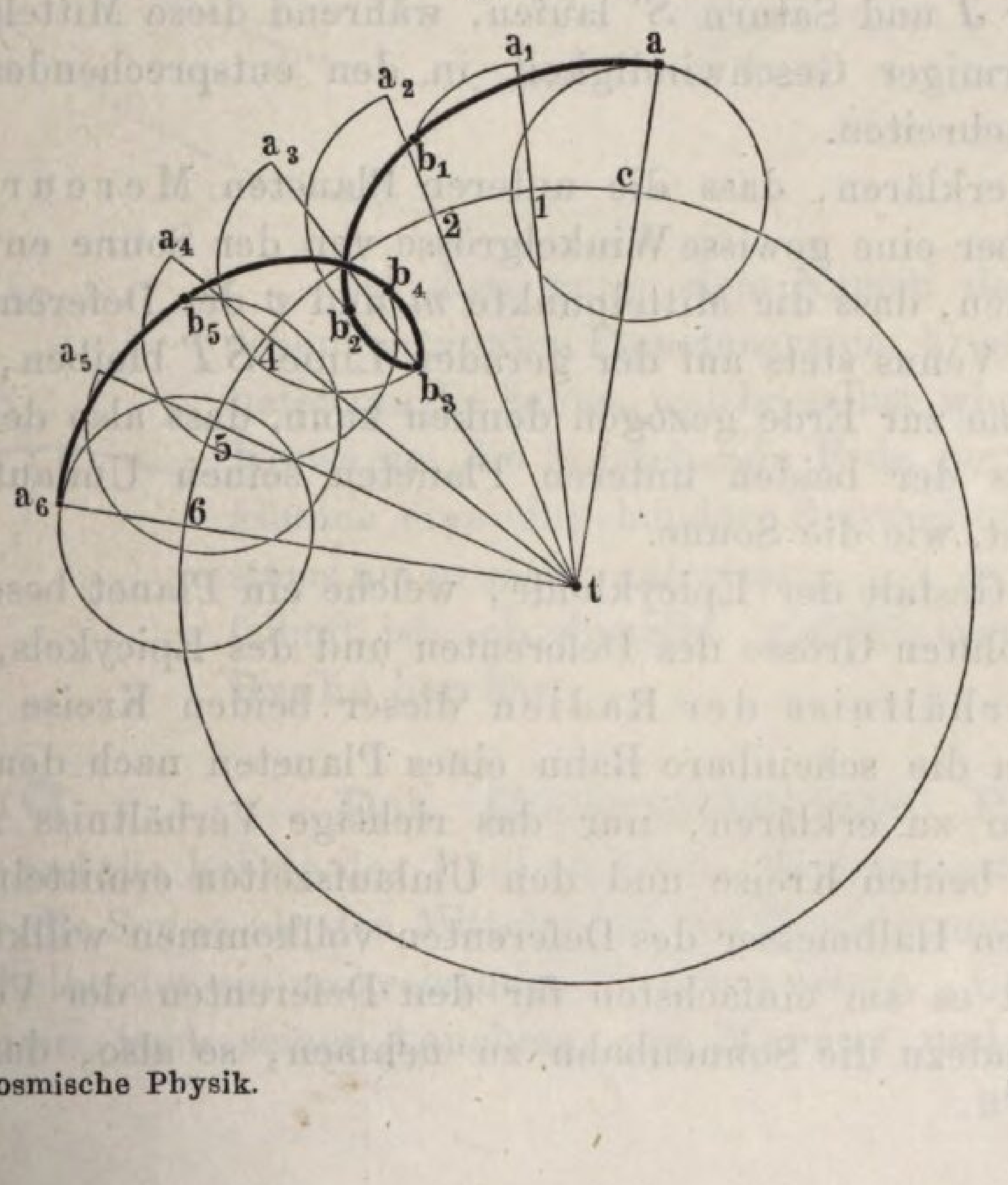
Diese erste Ungleichheit suchte man, wie bei der Sonne, durch die Annahme des excentrischen Kreises zu erklären.

Die zweite Ungleichheit kommt weder beim Monde noch bei der Sonne, sondern nur bei den Planeten vor; sie besteht darin, dass ihre rechtläufige Bewegung in gewissen Zeiten aufhört und in eine rückläufige, retrograde, sich verwandelt, wodurch dann die erwähnten Schleifen und Schlingen entstehen.

Diese zweite Ungleichheit suchte Ptolemäus durch die Theorie der Epicyklen zu erklären, indem er annahm, dass die Planeten nicht unmittelbar in Kreisen um die Erde laufen, wie Mond und Sonne, sondern dass sie sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in Kreisen bewegen, deren Mittelpunkte selbst wieder einen Kreis um einen festen oder auch selbst wieder beweglichen Mittelpunkt beschreiben.

Diese in der That ganz sinnreiche Theorie erklärt der Art nach alle die sonderbaren Unregelmässigkeiten, welche wir bereits kennen lernten. Die Fig. 81 soll das Wesen dieser epicyklischen Bewegung anschaulich machen. Der Körper *a* bewege sich in einem Kreise, dessen Radius *ca* ist und dessen Mittelpunkt *c* selbst wieder einen Kreis um den Punkt *t*

Fig. 81.



beschreibt, und zwar möge der Körper a einen Umlauf c vollenden, während dieser Mittelpunkt selbst von c bis 6 fortschreitet. Es ergiebt sich dann leicht aus dem Anblick der Figur, dass a der Reihe nach die Punkte b_1, b_2, b_3 u. s. w. passirt, dass also a b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 a_6 der Weg im Raume ist, den der Körper a in Folge seiner epicyklischen Bewegung zurücklegt.

Eine solche Curve a b_1 b_2 b_3 u. s. w. wird eine Epicykloide genannt.

Der Kreis, in welchem sich a in Beziehung auf den selbst fortschreitenden Mittelpunkt c bewegt, wird der Epicykel genannt; der Kreis aber, welchen der Mittelpunkt c des Epicykels beschreibt, wird der deferirende Kreis oder der Deferent genannt.

Man sieht wohl ein, dass sich auf diese Weise nicht allein der Stillstand und die rückläufige Bewegung der Planeten im Allgemeinen sondern auch die eigenthümliche Gestalt der scheinbaren Planetenbahnen recht gut erklären lassen, wenn man bedenkt dass man die Epicykloide von einem Standpunkte aus betrachtet, welche etwas über oder unter der Ebene dieser Curve liegt. Was die Gestalt der Epicykloiden betrifft, so hängt dieselbe einerseits von dem Verhältniss der Radien ca und ct des Epicykels und des Deferenten, und dann wieder von dem Verhältniss der Geschwindigkeiten ab, mit welchen die Planeten den Epicykel und der Mittelpunkt des Epicykels, den Deferenten, durchlaufen.

In Fig. 82 sind die epicyklischen Kreise der verschiedenen Planeten durch ausgezogene, die Deferenten dagegen durch punktirte Kreise angedeutet. Es sind m, v, m', i und s' die Mittelpunkte der epicyklischen Kreise, in welchen die Planeten Mercur M, Venus V, Mars Ms', Jupiter J und Saturn S' laufen, während diese Mittelpunkte selbst mit gleichförmiger Geschwindigkeit in den entsprechenden punktirten Kreisen fortschreiten.

Um zu erklären, dass die unteren Planeten Mercur und Venus sich nicht über eine gewisse Winkelgrösse von der Sonne entfernen, muss man annehmen, dass die Mittelpunkte m und v der Deferenten des Mercur und der Venus stets auf der geraden Linie ST bleiben, welche man von der Sonne zur Erde gezogen denken kann, dass also der Mittelpunkt des Epicykels der beiden unteren Planeten seinen Umlauf in gleicher Zeit vollendet, wie die Sonne.

Da die Gestalt der Epicykloide, welche ein Planet beschreibt, nicht von der absoluten Grösse des Deferenten und des Epicykels, sondern nur von dem Verhältniss der Radien dieser beiden Kreise abhängt, da man also um die scheinbare Bahn eines Planeten nach dem Ptolemäischen System zu erklären, nur das richtige Verhältniss zwischen den Radien der beiden Kreise und den Umlaufszeiten ermitteln muss, während man den Halbmesser des Deferenten vollkommen willkürlich wählen kann, so ist es am einfachsten für den Deferenten der Venus und des Mercur geradezu die Sonnenbahn zu nehmen, so also, dass Venus und

Mercur um die Sonne kreisen, während diese um die Erde herumläuft. Auf diese Weise erleidet das Ptolemäische System für die beiden unteren Planeten die durch Fig. 83 erläuterte Modification.

Fig. 82.

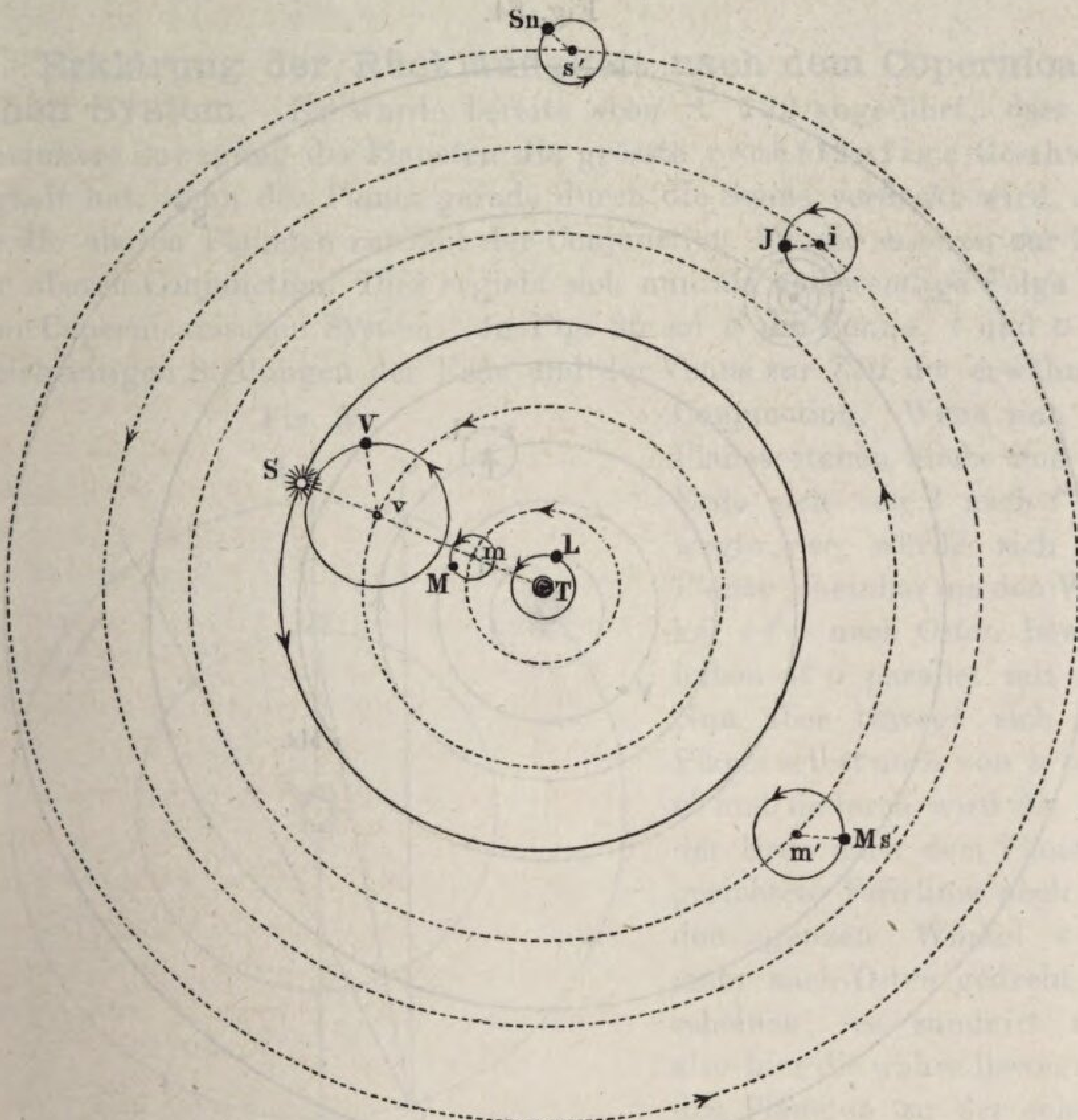
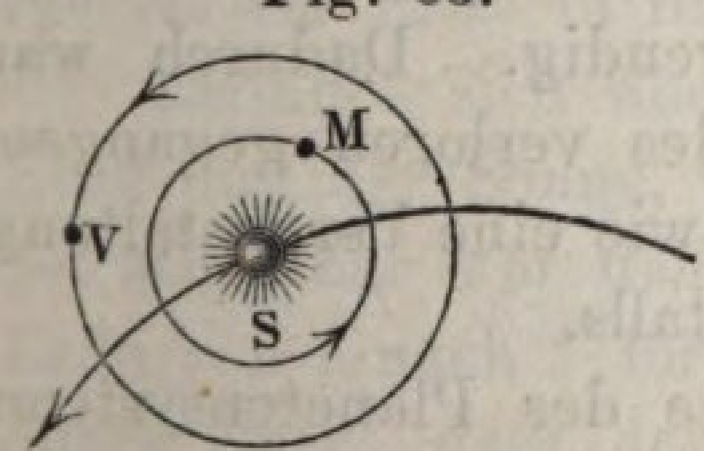


Fig. 83.



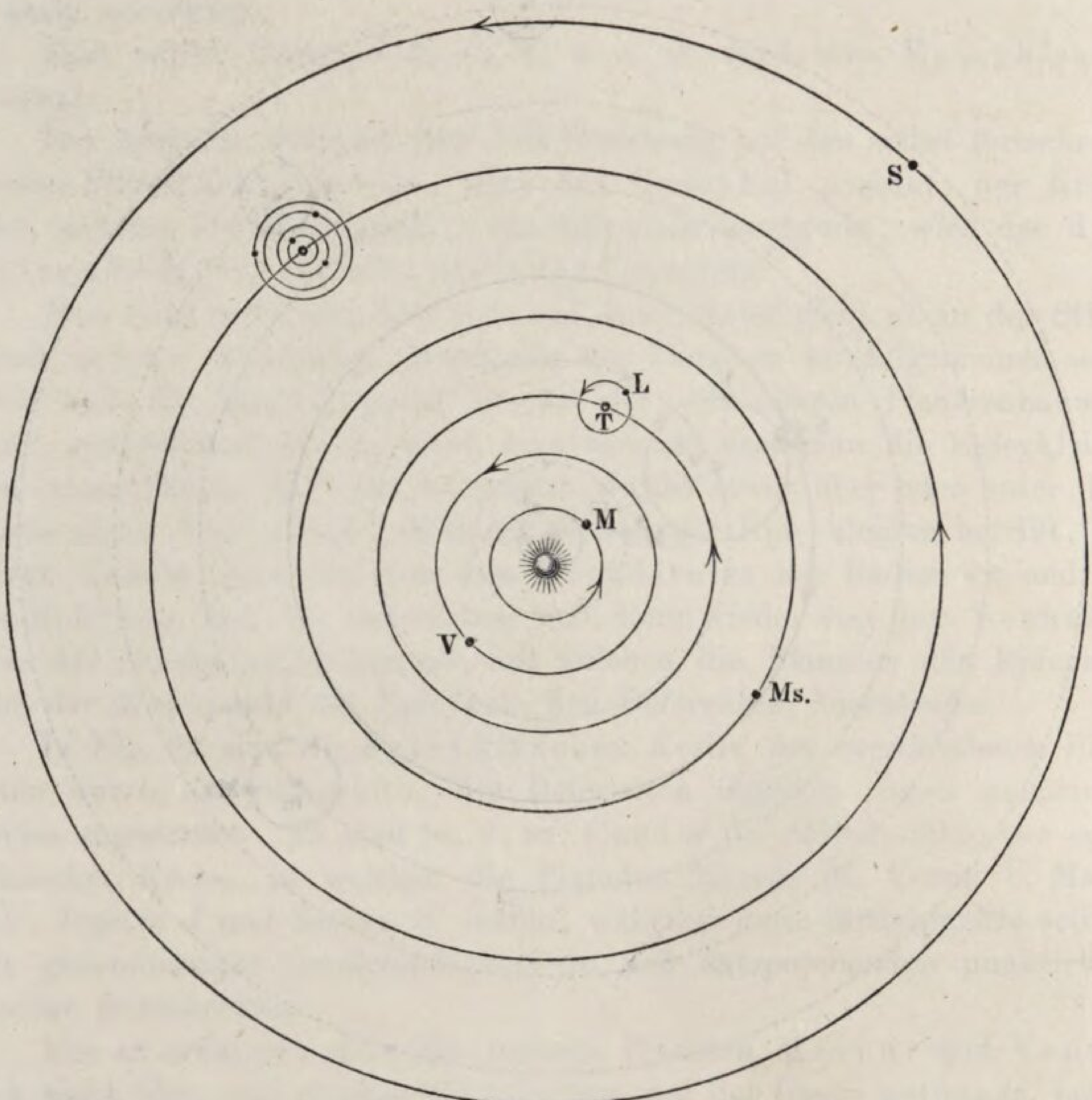
Bei dem unter dem Namen des Tychonischen bekannten Planetensystem kreisen alle Planeten um die Sonne, welche selbst wieder in einem Kreise um die feststehende Erde herumläuft. Wir können eine eingehendere Besprechung dieses Systems um so mehr unterlassen, als es höchst zweifelhaft ist, ob dasselbe wirklich von Tycho de Brahe herrührt.

T⊕ **Das Copernicanische Planetensystem.** 49 Copernicus kehrte das Ptolemäische Planetensystem geradezu um, indem er die Sonne als den Mittelpunkt des Weltalls annahm und die Erde in die Reihe der sie umkreisenden Planeten setzte. Um die Sonne zunächst kreisen, nach seiner Annahme, der Mercur und die Venus,

dann folgt die Erde, welche wieder vom Monde umkreist wird, ferner Mars, Jupiter und Saturn. Fig. 84 erläutert das Copernicanische System.

Um die theilweise rückläufige Bewegung der Planeten am Fixsternhimmel zu erklären, war die Einführung der Epicyklen in die geocen-

Fig. 84.



trische Theorie des Ptolemäus durchaus nothwendig. Dadurch war aber die Einheit und Harmonie des Weltgebäudes verloren gegangen. Die Epicykelntheorie erschien dem Copernicus wie eine Verunstaltung der anschaulichen und ästhetischen Form des Weltalls.

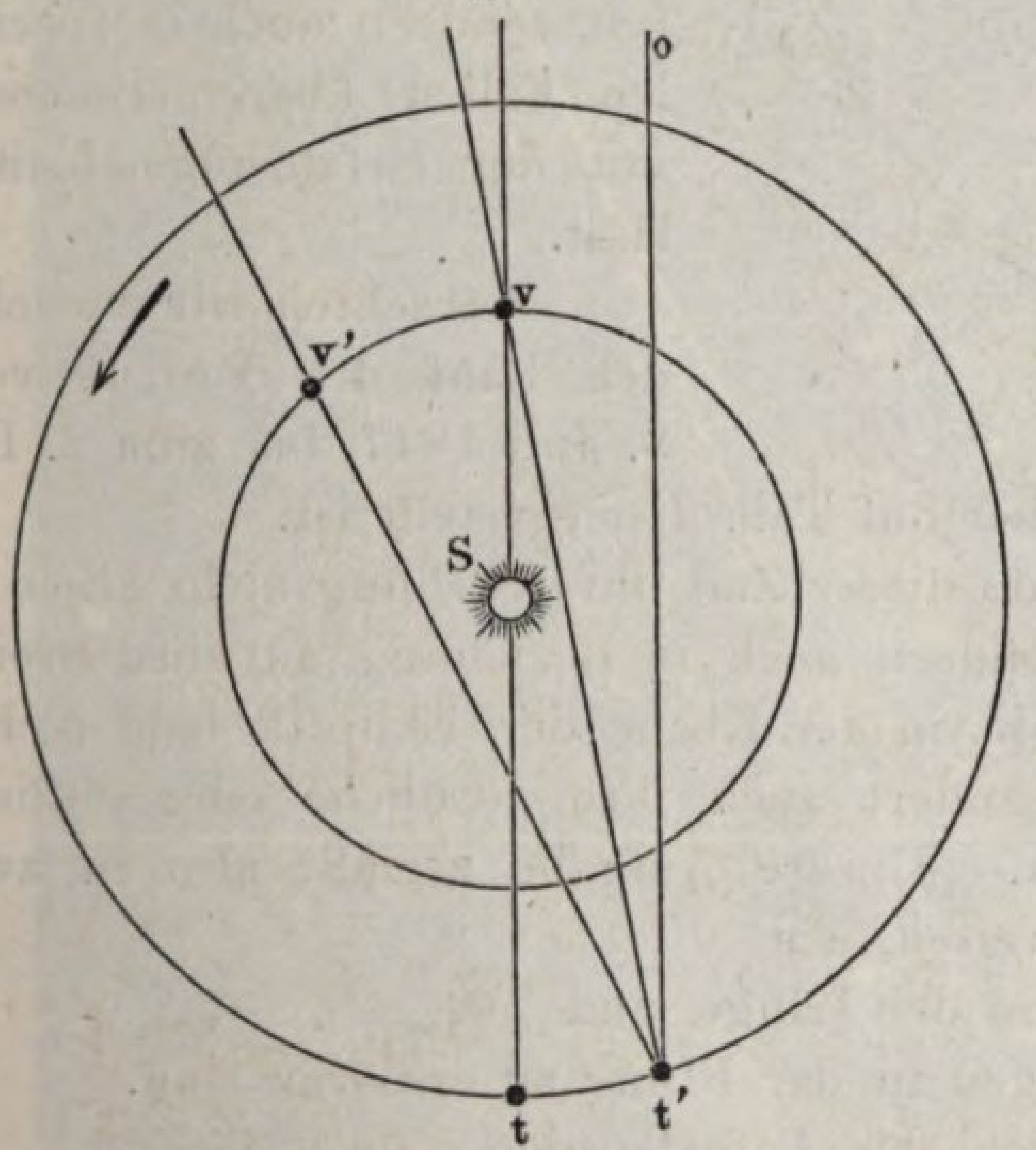
Indem Copernicus die Sonne in die Mitte des Planetensystems setzte, gelang es ihm, die zweite Ungleichheit der Planetenbewegung, die zeitweise retrograde Bewegung und die daraus sich ergebende Bildung von Schleifen in den Planetenbahnen ohne Epicykeln zu erklären, indem er diese Erscheinungen lediglich auf die Bewegung der Erde zurückführte, und so den Erscheinungen Genüge leistete, ohne die Einfachheit des Weltsystemes aufzuopfern.

Er selbst sagt in dieser Beziehung: „Durch keine andere Anord„nung habe ich eine so bewunderungswürdige Symmetrie des Universums,

„eine so harmonische Verbindung der Bahnen finden können, als da ich „die Weltleuchte, die Sonne, die ganze Familie kreisender Gestirne „lenkend, in die Mitte des schönen Naturtempels wie auf einen königlichen Thron gesetzt."

Erklärung der Rückläufigkeit nach dem Copernicanischen System. 50 Es wurde bereits oben S. 122 angeführt, dass die scheinbare Bewegung der Planeten die grösste rechtläufige Geschwindigkeit hat, wenn der Planet gerade durch die Sonne verdeckt wird, also für die oberen Planeten zur Zeit der Conjunction, für die unteren zur Zeit der oberen Conjunction. Dies ergiebt sich nun als nothwendige Folge aus dem Copernicanischen System. In Fig. 85 sei S die Sonne, t und v die gleichzeitigen Stellungen der Erde und der Venus zur Zeit der erwähnten Conjunction. Wenn nun der Planet stehen bliebe und die Erde sich von t nach t' bewegte, so würde sich der Planet scheinbar um den Winkel $o\,t'\,v$ nach Osten bewegt haben ($t'\,o$ parallel mit tv). Nun aber bewegt sich der Planet selbst noch von v nach v' und dadurch wird die von der Erde nach dem Planeten gerichtete Visirlinie noch um den ganzen Winkel $v\,t'\,v'$ mehr nach Osten gedreht erscheinen; es summirt sich also hier die wahre Bewegung des Planeten zu der scheinbaren, welche durch das Fortrücken der Erde in ihrer Bahn bewirkt wird.

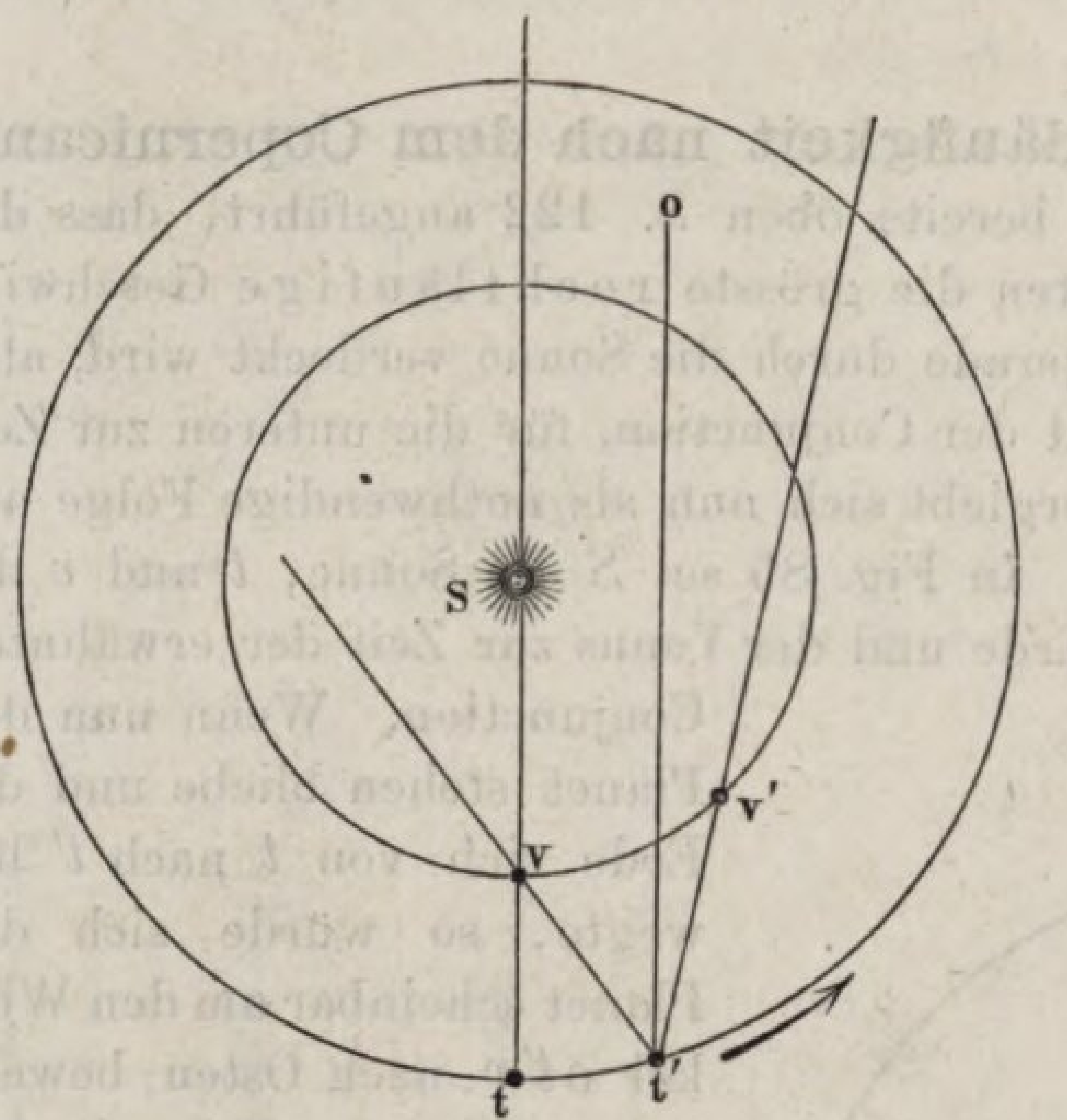
Fig. 85.



Befindet sich aber einer der unteren Planeten gerade zwischen der Erde und der Sonne, wie Fig. 86 (a. f. S.) zeigt, so würde sich der Planet scheinbar um den Winkel $o\,t'\,v$ nach Osten bewegen, wenn nur die Erde von t nach t' fortschritte und der Planet in v stehen bliebe. Dadurch aber, dass der Planet von v nach v' sich bewegt, wird die von der Erde nach dem Planeten gerichtete Visirlinie wieder um den Winkel $v\,t'\,v'$ nach Westen gedreht. Da nun die Planeten, welche der Sonne näher liegen, schneller in ihrer Bahn fortschreiten als die entfernteren, so ist $v\,v'$ grösser als $t\,t'$, also der Winkel $v\,t'\,v'$ grösser als $o\,t'\,v$, folglich wird sich der Planet am Himmel scheinbar nach Westen fortbewegen, während die Erde von t nach t' und der Planet von v nach v' fortschreiten; zur Zeit der unteren Conjunction ist also die Bewegung der Venus und des Mercur eine rückläufige.

Auf ähnliche Weise lässt sich zeigen, dass für die oberen Planeten die scheinbare Bewegung zur Zeit der Opposition rückläufig ist.

Fig. 86.



51 **Construction der scheinbaren Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System.** Unsere nächste Aufgabe besteht nun darin, zu zeigen, dass der scheinbare Lauf der Planeten am Himmelsgewölbe sich vollständig aus dem Copernicanischen System nicht allein im Allgemeinen erklären, sondern auch in speciellen Fällen übereinstimmend mit der Erfahrung ableiten lässt.

Betrachten wir zunächst den Lauf der Venus vom 3. Juli 1847 bis zum 2. December desselben Jahres, welcher auf Tab. 4 dargestellt ist.

Die Venus ändert im Laufe dieser Zeit ihre Stellung nicht allein in Beziehung auf ihre Länge, sondern auch in Beziehung auf ihre Breite, d. h. sie bewegt sich nicht allein in der Ebene der Ekliptik bald recht-, bald rückläufig, sondern sie ändert auch ihre nördliche oder südliche Entfernung von der Ekliptik. Unsere Aufgabe zerfällt also in zwei Theile; es ist nämlich nachzuweisen, wie

1) die Veränderungen in der Länge, und
2) wie die Veränderungen in der Breite zu erklären sind.

Gehen wir zum ersten Theil der Aufgabe über.

Tab. VII. stellt nach dem Copernicanischen System die Bahnen der Venus und der Erde und zwar in dem richtigen Verhältniss ihrer Halbmesser dar. V, V_1, V_2, V_3, V_4 und V_5 sind die Orte, an welchen sich die Venus nach dem genannten Systeme wirklich am 3. Juli, am 4. August, am 5. September, am 7. October, am 8. November und am 2. December befand. An denselben Tagen aber befand sich die Erde in den Punkten T, T_1, T_2, T_3, T_4 und T_5. Am 3. Juli sah man also die Venus in der Richtung TV, am 4. August sah man sie in der Richtung $T_1 V_1$ u. s. w.

Es ist nun zu untersuchen, wo diese Visirlinien auf den Thierkreis treffen. Der Durchmesser der Erdbahn ist verschwindend klein im Vergleich zu der Entfernung der Fixsterne; sollte also in unserer Figur die Verlängerung der Linie TV die richtige Stelle des Thierkreises treffen, so müsste dieser mit einem so enormen Halbmesser gezogen werden, dass

Tab. 4.


Bahn der Venus
vom 3ten Juli bis zum
2ten December 1847.
Ekliptik
Aequator.
3 Juli
11 Juli
20 Aug.
28 Aug.
5 Sept.
4 Aug.
8 Nov.
7 Oct.
15 Oct.
2 Dec.
5 Sept.
150
160
170
180
190
200
10
0
10

kein Papier ihn aufnehmen könnte; zieht man aber den Thierkreis mit einem kleineren Halbmesser, so braucht man nur parallel mit TV eine Linie durch den Mittelpunkt der Figur zu ziehen, um zu finden, auf welcher Stelle des Thierkreises am 3. Juli die Venus projicirt erschien. Diese durch den Mittelpunkt der Figur gezogene Richtungslinie trifft auf einen Punkt des Thierkreises, welcher ungefähr 32° westlich vom Herbstpunkte (♎ in Fig. 1, Tab. 3 der Punkt, in welchem sich Ekliptik und Aequator schneiden) liegt. Am 3. Juli 1847 war also die Länge der Venus 180° — 32 = 148°.

Auf gleiche Weise ergiebt sich die Länge der Venus:

am 4. August	177°
„ 5. September . . .	196°
„ 7. October	187°
„ 8. November . . .	185°
„ 2. December . . .	203°.

Es ergiebt sich also aus dieser Construction in der That, wie die Venus vom 3. Juli bis zum 5. September rechtläufig war, wie sie dann bald rückläufig wurde, um nach einiger Zeit wieder in die rechtläufige Bewegung überzugehen.

Hätte man dieselbe Construction für jeden Tag des angegebenen Zeitraums gemacht, so hätte man gefunden, dass die Dauer der retrograden Bewegung sich ungefähr vom 10. September bis zum 23. October erstreckt.

Da die scheinbaren Planetenbahnen nicht genau in die Ekliptik fallen, sondern zum Theil auf der Nordseite, zum Theil auf der Südseite derselben liegen, so müssen die Ebenen der wahren Planetenbahnen einen Winkel mit der Ebene der Erdbahn machen. Die Neigung der Venusbahn gegen die Erdbahn beträgt 3°.

Ein Theil der wahren Venusbahn liegt also nördlich, der übrige Theil derselben liegt südlich von der Ebene der Erdbahn. Die Ebene der Tab. VII. stellt die Ebene der Erdbahn dar. Die nördliche Hälfte der Venusbahn, welche oberhalb dieser Ebene liegt, ist ausgezogen, während die südlich von der Ebene der Ekliptik liegende Hälfte der Venusbahn punktirt ist.

Der Winkel, welchen die Ebene der Venusbahn mit der Ebene der Erdbahn macht, beträgt, wie schon erwähnt worden ist, 3°. Die beiden Ebenen schneiden sich in einer Linie AB, Tab. VII., welche den Namen der Knotenlinie führt. Die Venus passirt während eines ganzen Umlaufs um die Sonne zweimal die Ebene der Erdbahn, einmal in dem Punkte a, welcher der niedersteigende Knoten genannt und durch ☋ bezeichnet wird, um von der Nordseite der Ekliptik auf die Südseite derselben überzugehen, dann aber wieder im Punkte b, dem aufsteigenden Knoten (☊), welchen sie passirt, wenn die südliche Breite der Venus in eine nördliche übergeht.

Am 3. Juli 1847 befand sich der Tab. VII. zufolge die Venus noch nördlich von der Ekliptik, übereinstimmend mit dem scheinbaren Lauf, Tab. 4; sie näherte sich aber dem niedersteigenden Knoten, welchen sie ungefähr am 23. Juli passirte. Von nun an blieb die Breite der Venus eine südliche, bis sie am 11. November wieder den aufsteigenden Knoten passirte; der ganze scheinbare Weg, welchen die Venus vom 23. Juli bis zum 11. November durchläuft, muss also auf die Südseite der Ekliptik fallen, wie auch Tab. 4 zeigt.

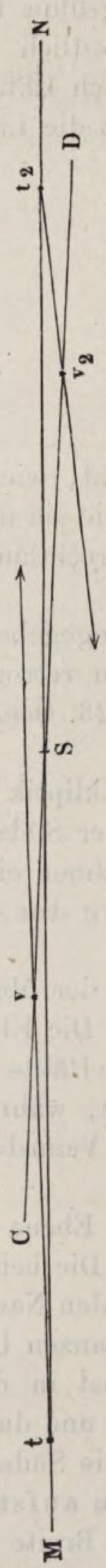


Fig. 87.

Suchen wir nun aber durch Construction die Breite der Venus für eine angegebene Zeit zu ermitteln.

Eine rechtwinklig auf der Knotenlinie AB, Tab. VII., stehende Ebene schneidet die Ebene der Venusbahn in einer Linie CD. In Fig. 87 sei die Ebene des Papiers die auf der Knotonlinie AB rechtwinklig stehende Ebene; CD der Durchschnitt derselben mit der Ebene der Venusbahn, MN ihr Durchschnitt mit der Ebene der Erdbahn, so schneiden sich diese beiden Linien unter einem Winkel von 3⁰. Soll nun für einen bestimmten Tag, etwa für den 5. September 1847, die Breite der Venus bestimmt werden, so fällt man von ihrem wahren Ort V_2, Tab. VII., ein Perpendikel $V_2 v_2$ auf CD und überträgt alsdann die Länge Sv_2 auf die Linie CD in Fig. 87; die Entfernung des Punktes v_2 von der Linie MN giebt alsdann die wahre Entfernung der Venus von der Ebene der Ekliptik für jenen Tag an. Um aber zu erfahren, wie viel Grade uns, von der Erde aus gesehen, die Venus von der Ekliptik entfernt erscheint, hat man auf MN einen Punkt t_2 zu bestimmen, welcher von v_2 so weit absteht wie T_2 auf Tab. VII. von V_2. Zieht man endlich die Linie $t_2 v_2$, so ist der Winkel, welchen diese Linie mit der Linie MN macht, gleich dem Winkel, um welchen die Venus zur angegebenen Zeit südlich von der Ekliptik erschien; dieser Winkel ist unserer Construction zufolge ungefähr 6⁰.

Für den 5. September 1847 ergiebt sich also aus dieser Construction die Länge der Venus 196⁰ (16⁰ östlich vom Herbstpunkte 0 ♎), die südliche Breite aber gleich 6⁰.

Durch eine ähnliche Construction ergiebt sich für den 3. Juli die nördliche Breite der Venus gleich $1^1/_2$ Grad, während gleichzeitig ihre Länge 148⁰ (32⁰ westlich vom Herbstpunkte) ist.

Bestimmt man auf ähnliche Weise durch Construction die scheinbaren Oerter der Venus von 8 zu 8 Tagen vom 3. Juli bis zum 2. December 1847, so ergiebt sich in der

That der scheinbare Lauf der Venus im angegebenen Zeitraum so, wie er Tab. 4 verzeichnet ist.

Wir haben für einen speciellen Fall nach dem Copernicanischen System ein Stück der scheinbaren Bahn eines Planeten durch Construction abgeleitet. Soll eine solche Construction genaue Resultate liefern, so muss die Zeichnung in grösserem Maassstabe mit äusserster Sorgfalt ausgeführt werden, wie dies in dem sehr empfehlenswerthen Werkchen: „Der Planetenlauf, eine graphische Darstellung der Bahnen der Planeten u. s. w. von Dr. Nell, Braunschweig 1858" geschehen ist.

Die beiden ersten Tafeln dieses Werkchens sind als Tab. VIII a. und Tab. IX a. in den Atlas unserer kosmischen Physik übergegangen.

Tab. VIII a. enthält die Bahnen der Erde und der beiden unteren Planeten, eingetheilt nach täglicher Bewegung; man kann also auf dieser Tafel ersehen:

1. an welcher Stelle ihrer Bahn die Erde an jedem Tage des Jahres Mittags um 12 Uhr steht;

2. an welchen Stellen ihrer Bahn die Venus an den einzelnen Tagen der Jahre 1856 bis 1879 steht. Der Zwischenraum zwischen je zwei Theilstrichen der Venusbahn ist der Weg, welchen dieser Planet an einem Tage zurücklegt.

Bei dem ersten der längeren Theilstriche z. B., welche auf der linken Seite der Venusbahn unter der durch die Sonne gezogenen Horizontallinie liegt, stehen die Zahlen 61, 69, 77 und dann 1. August; d. h. an dieser Stelle steht die Venus am 1. August 1861, am 1. August 1869 und am 1. August 1877; bei dem nach unten folgenden Theilstriche steht sie also am 2. August der genannten Jahre und dem nächsten längeren Theilstriche steht sie in den genannten Jahren am 4. August. Bei diesem letzten Theilstriche steht sie aber auch am 1. September und am 20. Januar 1856, 1864 und 1872;

3. an welcher Stelle seiner Bahn der Mercur an jedem Tage der Jahre 1856 bis 1865 steht. Nach den für die Venusbahn gegebenen Erläuterungen ist wohl die Eintheilung der Mercursbahn mit den beigeschriebenen Jahreszahlen u. s. w. ohne Weiteres verständlich.

Auf Tab. IX a. sind auf der Erdbahn die Stellen angegeben, in welchen sich die Erde am 1., 11. und 21. eines jeden Monats befindet; für dieselben Monatstage findet man auf dieser Tafel die Stellung des Mars von 1856 bis 1870 angegeben.

Die Eintheilung der Marsbahn bedarf noch einiger Erläuterung. Die längeren Theilstriche, bei welchen eine Jahreszahl steht, bezeichnen die Stelle, an welcher sich Mars am 1. Januar der genannten Jahre befindet; der Raum zwischen je zwei auf einander folgenden längeren Theilstrichen aber ist der Weg, welchen der Mars im Laufe eines Monats zuzücklegt, wonach die Ortsbestimmung des Mars während der genannten Periode wohl keine Schwierigkeit haben wird.

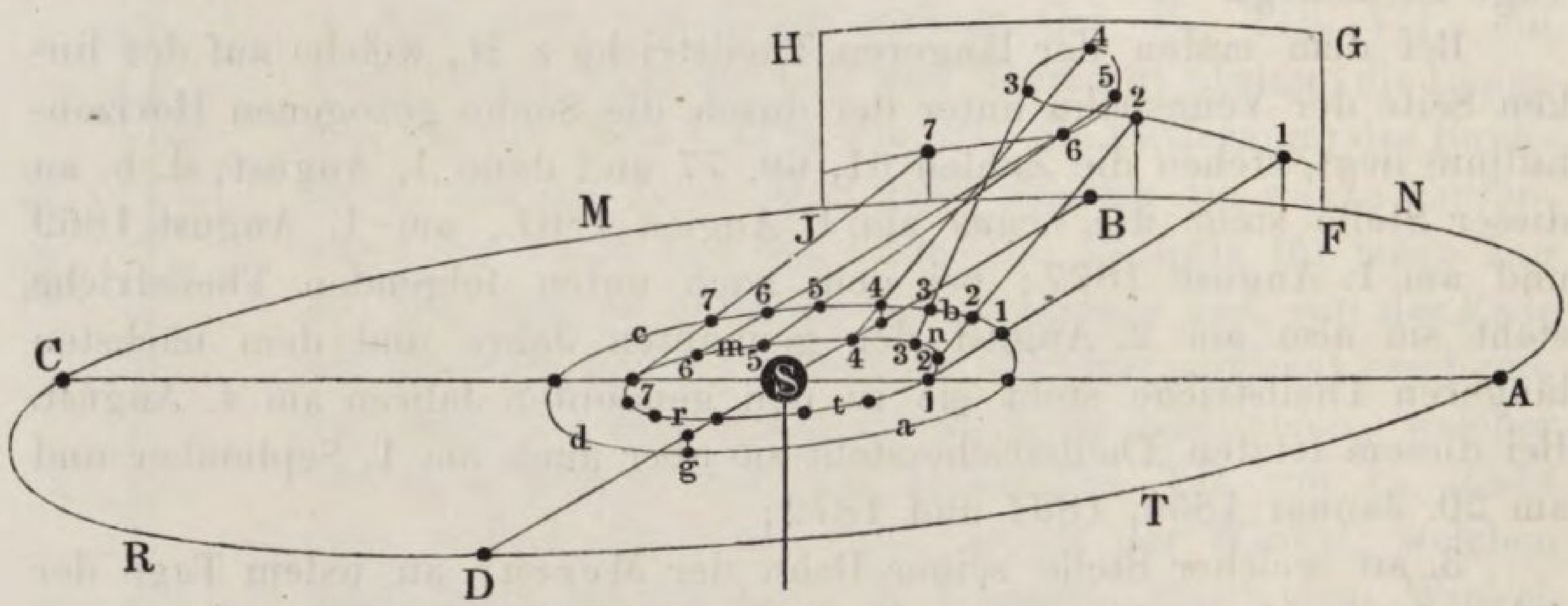
Die an den Bahnen des **Jupiter**, **Saturn** und **Uranus** angebrachten Theilstriche bezeichnen die Stelle, an welcher sich die genannten Planeten am 1. jedes Monats in den beigeschriebenen Jahren befinden.

Nach den oben mitgetheilten Principien unterliegt es nun keiner Schwierigkeit, aus dem auf Tab. VIII a. und Tab. IX a. dargestellten **wahren** Lauf der Planeten den **scheinbaren** Lauf abzuleiten. Eine eingehende Besprechung dieses Gegenstandes findet der Leser in dem bereits erwähnten Werkchen des Dr. **Nell**.

Es versteht sich von selbst, dass man den scheinbaren Lauf der Planeten, von denselben Principien ausgehend, auch durch **Rechnung** ermitteln kann, und zwar werden die Resultate der Rechnung ungleich genauer sein, als die durch Zeichnung erhaltenen.

52 **Modell zur Erklärung des Planetenlaufs.** Um beim Unterrichte recht anschaulich zu machen, wie die scheinbare Bahn der Planeten das Resultat einer gleichzeitigen Bewegung des Planeten und der Erde im Sinne des Copernicanischen Systems ist, bediene ich mich mit Erfolg eines aus starkem Draht und Bleikugeln verfertigten Modelles, welches Fig. 88 in $1/_{10}$ der natürlichen Grösse schematisch darstellt.

Fig. 88.



Auf einem Eisenstab ist eine Metallkugel S befestigt, welche die Sonne repräsentirt. In S stecken rechtwinklig zu einander vier horizontale Eisenstäbchen SA, SB, SC und SD, welche aussen durch einen Messingring $NMRT$ verbunden sind, welcher den Durchschnitt der Ebene der Erdbahn mit dem Himmelsgewölbe, also die Ekliptik darstellt. Concentrisch mit diesem äusseren Ring ist ein kleinerer in derselben Ebene befindlicher Ring $nmrt$ von Messingdraht gelegt, welcher die Erdbahn darstellt. Auf dieser Erdbahn sind in gleichen Zwischenräumen 12 Bleikugeln angebracht, welche die Stellen bezeichnen, an welchen sich die Erde in 12 verschiedenen stets um 30 Tage aus einander liegenden Zeitpunkten befindet. — Die 7 ersten dieser Stellungen sind mit den Zahlen 1, 2, 3 u. s. w. bis 7 bezeichnet.

Um S ist aber noch ein dritter Messingring $abcdg$ gelegt, welcher die Bahn eines oberen Planeten, etwa des Mars, repräsentirt. Die Ebene dieser Bahn fällt nicht mit der Ebene der Erdbahn zusammen, denn der Punkt g derselben liegt unter SD, während der mit 4 bezeichnete Punkt dieser Bahn eben so hoch über SB liegt. Auf diesen Ring sind nun gleichfalls 7 Bleikugeln befestigt, welche in unserer Figur auch mit 1, 2, 3 u. s. w. bezeichnet sind, und welche die Orte angeben, in welchen sich der Planet in denselben Zeitpunkten befindet, in denen die Erde die mit gleichen Ziffern bezeichneten Orte der Erdbahn einnimmt.

Der Uebersicht wegen ist es zweckmässig, in dem ausgeführten Modell die entsprechenden Kugeln mit gleichen Farben anzustreichen, also etwa weiss die beiden mit 1 bezeichneten Kugeln, roth die beiden mit 2 bezeichneten u. s. w.; die folgenden Kugelpaare grün, gelb, blau, violett und schwarz.

Die Abstände zweier auf einander folgenden Kugeln, also 1 bis 2, 2 bis 3 u. s. w. müssen natürlich auf der Bahn $abcd$ kleiner sein als auf der Erdbahn, weil ja jeder fernere Planet langsamer in seiner Bahn sich fortbewegt als die der Sonne näheren. In unserem Modell verhalten sich die Abstände zweier auf einander folgenden Kugeln auf den beiden Ringen $abcd$ und $nmrt$ wie 17 zu 23.

Denken wir uns nun von einem bestimmten Ort der Erde über den gleichzeitigen Ort des Mars, also z. B. von 1 der Erdbahn über 1 der Marsbahn eine gerade Linie gezogen, so wird diese das Himmelsgewölbe in einem bestimmten Punkte treffen, der in unserem Modell mit derselben Ziffer bezeichnet ist, wie die entsprechenden Oerter der Erde und des Mars. In unserem Modell ist, um diese Projectionen des Mars auf das Himmelsgewölbe aufzeichnen zu können, ein Blechstück $FGHJ$ an dem äusseren Ringe befestigt, auf dieses sind die Projectionen des Mars aufgetragen, und zwar mit gleicher Farbe bezeichnet wie die entsprechenden Positionen der Erde und des Mars, und endlich die drei zusammengehörigen Orte, also z. B. 2 auf der Erdbahn, 2 auf der Marsbahn und 2 auf dem Himmelsgewölbe durch ein gerade gestrecktes Drahtstück verbunden, welches die von der Erde über den Mars nach dem Himmelsgewölbe gerichtete Visirlinie repräsentirt.

Werden die Marsprojectionen 1, 2, 3 ... 7 auf $FGHJ$ durch eine Curve verbunden, wie es in unserer Figur geschehen ist, so stellt diese nun einen Theil der scheinbaren Marsbahn dar. Um die nöthige Anschaulichkeit zu erreichen, muss man von den wahren Grössenverhältnissen abweichen und namentlich die Neigung der Marsbahn bedeutend vergrössern, wie es auch in dem Fig. 88 dargestellten Modell geschehen ist.

Elemente der Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System. Soll die Bahn eines Planeten und seine Bewegung in derselben vollständig bestimmt sein, so muss man folgende Elemente kennen: 53

1) den Halbmesser der Bahn (den mittleren Abstand von der Sonne);
2) die siderische oder wahre Umlaufszeit;
3) die Neigung der Bahn;
4) die Länge des aufsteigenden Knotens;
5) die Epoche.

Diese fünf Elemente sind für die sechs älteren Planeten folgende:

	Mittlerer Abstand von der Sonne.	Siderische Umlaufszeit.	Neigung der Bahn.	Länge des aufsteigenden Knotens.	Epoche.
Mercur . .	0,3871	87ᵗ 23ʰ 16′	7° 0,2′	46° 24′	241° 54,6′
Venus . .	0,7233	224 16 49	3 23,5	75 12	289 40,5
Erde . . .	1,0000	365 6 9	0 0		100 32,5
Mars . . .	1,5237	686 23 30	1 51,1	48 17	317 19,6
Jupiter . .	5,2028	4332 14 2	1 18,7	98 49	307 7,8
Saturn . .	9,5388	10759 5 16	2 29,5	112 17	73 23,4

Zur Erläuterung dieser Tabelle sind noch einige Bemerkungen beizufügen.

Im Ptolemäischen System kommt es nur auf das Verhältniss des Deferenten zum Epicykel an, das Verhältniss aber, in welchem die Radien der deferirenden Kreise für die verschiedenen Planeten stehen, ist dagegen ganz gleichgültig; das Ptolemäische System bietet deshalb auch keinen Anhaltspunkt zur Bestimmung der absoluten oder relativen Entfernung der Planeten vom Centralkörper des Systemes.

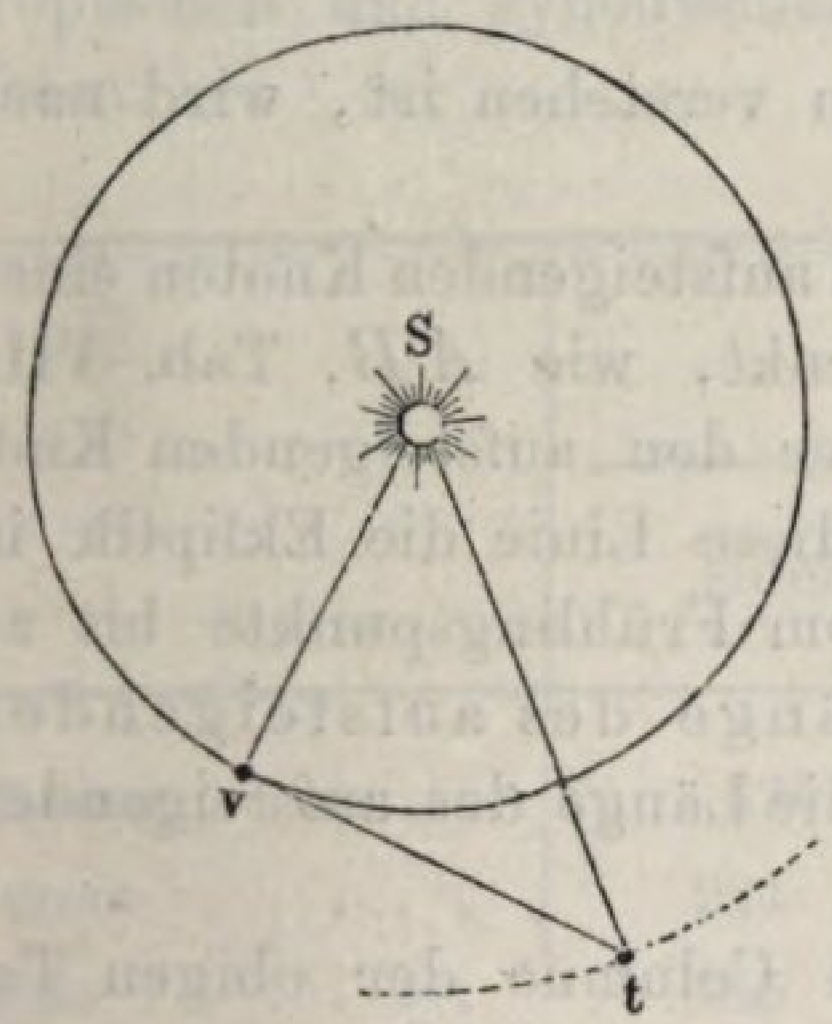
Anders verhält es sich beim Copernicanischen System; hier hängt die Gestaltung der scheinbaren Planetenbahn wesentlich ab von dem Grössenverhältniss, in welchem der Abstand der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn steht; die Abstände der Planeten von der Sonne gehören im Copernicanischen System zu den wesentlichen Elementen der Bahn.

Eine annähernd genaue Bestimmung dieser Abstände ergiebt sich für die unteren Planeten schon aus einer einzigen, für die oberen Planeten aus der Combination zweier passender Beobachtungen.

In Fig. 89 sei S die Sonne, der ganze ausgezogene Kreis die Bahn der Venus, der punktirte Bogen ein Stück der Erdbahn. Für die Zeit nun, in welcher uns der Winkelabstand der Venus von der Sonne ein Maximum wird, ist eine von der Erde zur Venus gezogene Linie tv eine Tangente der Venusbahn, es steht also tv rechtwinklig auf vS und es ist also $Sv = tS . sin.\ 46^0$, da der Winkel Stv, das Maximum der Elongation zwischen Venus und Sonne, im Mittel 46° beträgt. Wenn wir

also den Abstand St der Erde von der Sonne mit 1 bezeichnen, so ist also der Abstand vS der Venus von der Erde gleich 0,72.

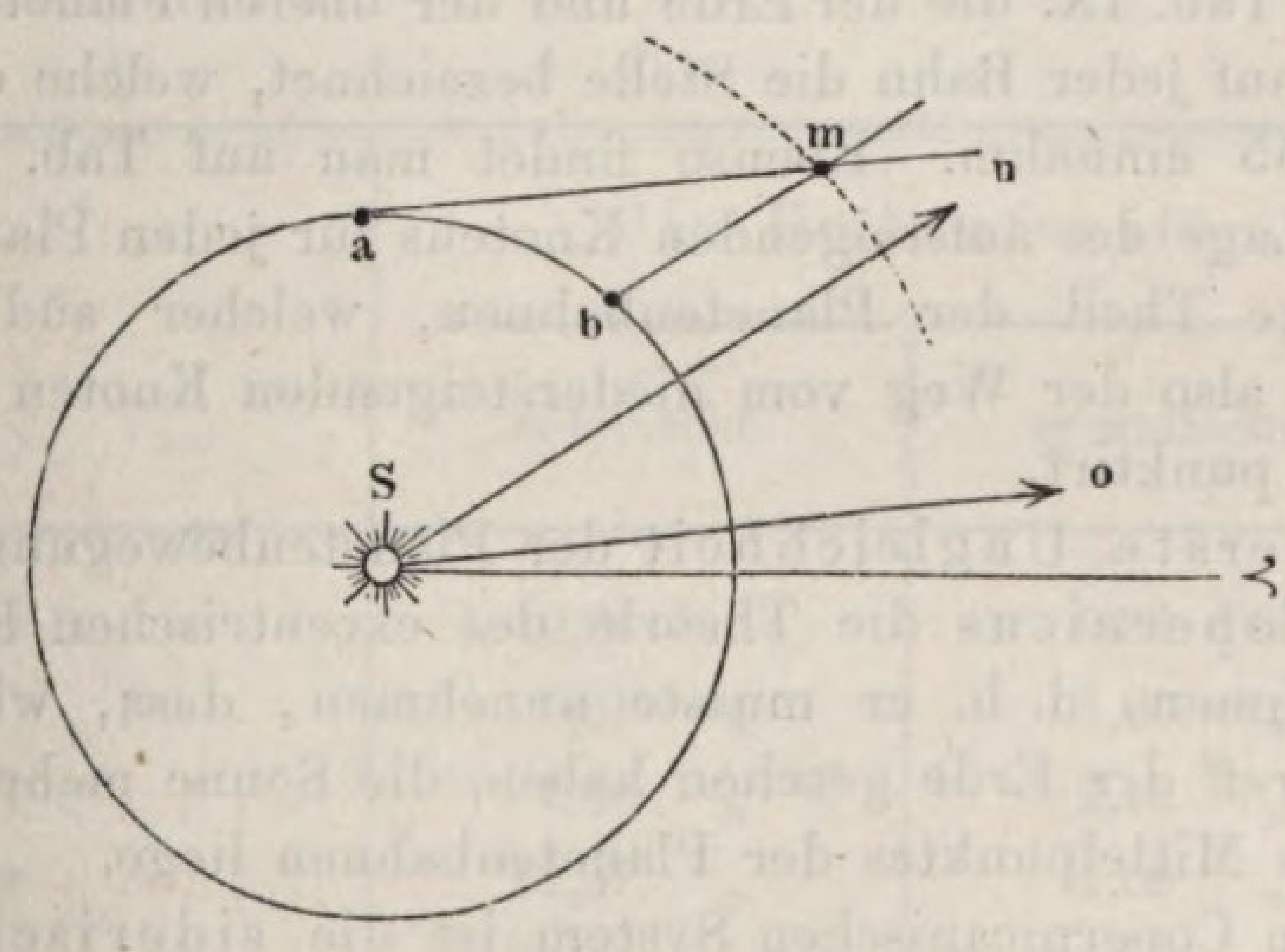
Fig. 89.



In derselben Weise lässt sich auch die Entfernung des Mercur von der Sonne bestimmen.

Eine annähernd genaue Bestimmung des Abstandes der oberen Planeten von der Sonne ergiebt sich aus der Beobachtung zweier auf einander folgender Durchgänge derselben durch den aufsteigenden Knoten. So ging z. B. Mars durch den aufsteigenden Knoten am 1. Januar 1846 und dann wieder am 19. November 1847. Die entsprechenden Durchschnittspunkte der scheinbaren Marsbahn mit der Ekliptik lagen aber 7° und 33° östlich vom Frühlingspunkte; demnach sind So und Sn, Fig. 90, die Richtungen, nach welchen am 1. Januar 1846 und am 19. November 1847 Mars von der Erde aus gesehen ward. Wenn nun aber

Fig. 90.



der innere ausgezogene Kreis die Erdbahn darstellt, so sind a und b die Stellen, welche die Erde in den genannten Tagen einnahm. Zieht man nun durch a eine Linie parallel mit So, durch b eine zweite parallel mit Sn, so werden sich diese Linien in m schneiden. Dieser Punkt m aber ist offenbar derjenige Punkt der Marsbahn, in welchem sich der fragliche Planet an den genannten Tagen befindet, und Sm ist die Entfernung des Mars von der Sonne, wenn Sa der Abstand zwischen Erde und Sonne ist.

Dass eine solche Bestimmungsweise nicht ganz genau ist, sondern nur eine erste Annäherung liefern kann, versteht sich von selbst, und zwar um so mehr, als der Abstand der Planeten von der Sonne, wie wir

bald sehen werden, selbst innerhalb gewisser Gränzen veränderlich ist, was daher rührt, dass die Sonne nicht genau im Mittelpunkte der Planetenbahnen liegt. Die obige Tabelle giebt den mittleren Abstand der Planeten von der Sonne.

Was unter der Neigung der Bahn zu verstehen ist, wird nach dem vorigen Paragraphen klar sein.

Wenn man von der Sonne aus durch den aufsteigenden Knoten einer Planetenbahn eine gerade Linie gezogen denkt, wie AB, Tab. VII., welche von dem Mittelpunkte der Sonne über den aufsteigenden Knoten b der Venusbahn gezogen ist, so trifft diese Linie die Ekliptik in einem bestimmten Punkte B. Der Bogen vom Frühlingspunkte bis zu diesem Punkte ist die (heliocentrische) Länge des aufsteigenden Knotens. So sehen wir aus Tab. VII., dass die Länge des aufsteigenden Knotens der Venus 75^0 ist.

Die Epoche, welche wir in der letzten Columne der obigen Tabelle finden, giebt uns die heliocentrische Länge der Planeten für irgend einen bestimmten Zeitpunkt; in obiger Tabelle ist unter der Ueberschrift „Epoche" in der letzten Verticalreihe die heliocentrische Länge der Planeten für den 1. Januar 1855 angegeben.

Auf Tab. VIII. sind die Bahnen der unteren Planeten, der Erde und des Mars, auf Tab. IX. die der Erde und der oberen Planeten dargestellt, und zwar ist auf jeder Bahn die Stelle bezeichnet, welche der Planet am 1. Januar 1855 einnahm. Ebenso findet man auf Tab. VIII. und auf Tab. IX. die Lage des aufsteigenden Knotens für jeden Planeten bezeichnet. Derjenige Theil der Planetenbahnen, welcher südlich von der Ekliptik liegt, also der Weg vom niedersteigenden Knoten bis zum aufsteigenden ist punktirt.

Um die erste Ungleichheit der Planetenbewegung zu erklären, musste auch Copernicus die Theorie des excentrischen Kreises in sein System aufnehmen, d. h. er musste annehmen, dass, wie wir bereits S. 115 in Betreff der Erde gesehen haben, die Sonne mehr oder weniger ausserhalb des Mittelpunktes der Planetenbahnen liege.

Nach dem Copernicanischen System ist die siderische Umlaufszeit nichts Anderes als die wahre Umlaufszeit des Planeten um die Sonne, d. h. die Zeit, welche er braucht, um einen Winkel von 360^0 um die Sonne herum zurückzulegen. Von dieser siderischen Umlaufszeit ist die tropische und die synodische Umlaufszeit zu unterscheiden.

Die tropische Umlaufszeit ist die Zeit, welche zwischen zwei von der Sonne aus gesehenen Durchgängen des Planeten durch den Frühlingspunkt liegt. Wäre der Frühlingspunkt unveränderlich, so wäre die tropische Umlaufszeit der siderischen gleich; wegen des Rückganges des Frühlingspunktes aber ist die tropische Umlaufszeit etwas kürzer.

Die synodische Umlaufszeit ist, wie wir schon oben gesehen haben, die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden gleich-

namigen Conjunctionen des Planeten mit der Sonne vergeht, oder auch die Zeit von einer Opposition zur nächsten.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der siderischen, tropischen und synodischen Umlaufszeit der bisher besprochenen Planeten.

	Umlaufszeit		
	siderische.	tropische.	synodische.
Mercur	87^t 23^h 16′	87^t 23^h 15′	115^t 21^h
Venus	224 16 49	224 16 41	583 22
Erde	365 6 9	365 5 19	
Mars	686 23 30	686 22 18	780 0
Jupiter	4332 14 2	4330 14 10	398 22
Saturn	10759 5 16	10746 22 30	378 2

Oder es ist nahezu für

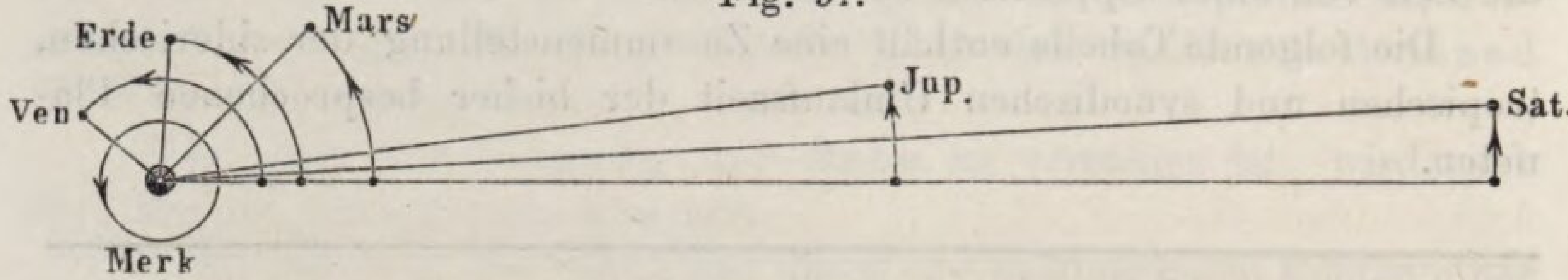
	die Umlaufszeit	
	siderische.	synodische.
Mercur	0,24 Jahr	0,31 Jahr
Venus	0,61 „	1,60 „
Mars	1,88 „	2,13 „
Jupiter	11,87 „	1,09 „
Saturn	29,47 „	1,03 „

Aus den oben angegebenen Werthen für die siderische Umlaufszeit der Planeten ergiebt sich, dass die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher sie sich in ihren Bahnen um die Sonne bewegen, um so geringer ist, je weiter sie von der Sonne abstehen. Während Mercur einen ganzen siderischen Umlauf vollendet, hat der Winkel, welchen der Leitstrahl der übrigen Planeten in der gleichen Zeit zurücklegt, nahezu folgende Werthe:

Mercur	360°	Mars	46,1°
Venus	140,8	Jupiter	7,3
Erde	87,8	Saturn	2,9

Dies Verhältniss wird durch Fig. 91 anschaulich gemacht.

Fig. 91.



Aber nicht allein die Winkelgeschwindigkeit, sondern auch die absolute Geschwindigkeit der Planeten in ihren Bahnen ist um so geringer, je grösser ihr Abstand von der Sonne ist. Der Weg, welchen im Durchschnitt die einzelnen Planeten in ihren Bahnen fortschreitend in 1 Secunde zurücklegen, ist für

Mercur	6,7	Meilen	Mars	3,4	Meilen
Venus	4,9	„	Jupiter	1,7	„
Erde	4,7	„	Saturn	1,3	„

54 **Die Kepler'schen Gesetze.** Obgleich das Copernicanische System die Grundlage für alle weiteren Entwickelungen der Astronomie bildet, so war durch dasselbe für die praktische Astronomie unmittelbar doch nicht viel gewonnen, denn die nach demselben vorausberechneten Planetenörter stimmten mit den beobachteten Bahnen kaum genauer überein, als die nach den früheren Hypothesen berechneten Oerter. Die Differenz zwischen Rechnung und Beobachtung ging weit über die Gränze der Beobachtungsfehler hinaus.

Kepler war Jahre lang bemüht, die Grundidee des Copernicanischen Systems adoptirend, dasselbe so zu modificiren, dass man die Bahn der Planeten mit genügender Genauigkeit danach berechnen könne. Blosse Veränderungen in den Elementen der Planetenbahnen führten nicht zum Ziele; die zahlreichen und genauen Beobachtungen des Planeten Mars, welche Tycho de Brahe hinterlassen hatte, liessen sich auf diese Weise nicht mit dem Copernicanischen System in Uebereinstimmung bringen.

Zunächst liessen sich die Tychonischen Beobachtungen nicht mit der Annahme in Uebereinstimmung bringen, dass die Planeten mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihren Bahnen fortschreiten, und durch eine sorgfältige und mühsame Combination des vorhandenen Beobachtungsmaterials gelangte endlich Kepler in Beziehung auf die Geschwindigkeit zu dem Gesetze, welches wir bereits oben S. 115 kennen gelernt haben und welches den Namen des ersten Kepler'schen Gesetzes führt. Dieses Gesetz gilt für alle anderen Planeten ebenso, wie für die Erde.

Das zweite Gesetz, welches Kepler aus den Tychonischen Beobachtungen ableitete, bezieht sich auf die Gestalt der Planetenbahnen. Auch dieses Gesetz ist bereits oben (S. 115) erwähnt worden. Nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze bewegen sich die Planeten

in Ellipsen und die Sonne steht in dem einen Brennpunkte derselben.

Die Entfernung der Sonne von dem Mittelpunkte der Ellipse wird, wie bereits S. 115 erwähnt wurde, die Excentricität genannt.

Die Gestalt der Ellipse ist bestimmt, wenn man ihre halbe grosse Axe (die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne) und ihre Excentricität kennt; um die Lage der Bahn im Raume zu kennen, muss man noch die Neigung der Bahn, die Länge des Periheliums und die Länge des aufsteigenden Knotens kennen. Zum Theil sind diese Elemente für die Erde und die mit blossem Auge sichtbaren Planeten schon in der Tabelle auf S. 140 mitgetheilt worden, die übrigen folgen hier:

	Excentricität.	Länge des Periheliums.
Mercur	0,206	74° 57,5′
Venus	0,007	124 14,4
Erde	0,017	100 11,5
Mars	0,093	333 6,6
Jupiter	0,048	11 45,5
Saturn	0,056	89 54,7

Die Excentricität ist hier in Theilen der halben grossen Axe ausgedrückt. Man sieht, dass sie für den Mercur und den Mars am bedeutendsten ist.

Bezeichnen wir die halbe grosse Axe der Mercursbahn mit 1, so ist die Excentricität nach obiger Tabelle 0,206, und daraus folgt dann, dass die halbe kleine Axe der Mercursbahn 0,978 ist. Bei der Kleinheit des Maassstabes, in welchem die Tab. VIII. ausgeführt ist, kann also die Differenz der grossen und kleinen Axe der Mercursbahn ganz unberücksichtigt bleiben; die Mercursbahn ist deshalb gleich den Bahnen der anderen Planeten auf Tab. VIII. und IX., deren Excentricität noch geringer ist, als vollständiger Kreis gezogen. Jedoch liegt die Sonne, wie man sieht, nicht im Mittelpunkte dieser Kreise, sondern sie steht von demselben so weit ab, wie es nach dem Werthe der Excentricität der obigen Tabelle sein muss.

Nur für die Erd- und Venusbahn ist die Excentricität so gering, dass bei dem Maassstab der beiden Tafeln VIII. und IX. die Sonne mit dem Mittelpunkte der Kreise zusammenfällt.

In Tab. VIII. und IX. ist die Stelle der Sonnennähe jedes einzelnen Planeten durch einen von der Sonne ausgehenden Pfeil bezeichnet.

Das dritte Kepler'sche Gesetz bezieht sich auf das Verhält-

niss, welches zwischen der Umlaufszeit der Planeten und ihrer mittleren Entfernung von der Sonne besteht. Es heisst:

Die Quadrate der Umlaufszeiten verschiedener Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Bezeichnen wir mit T und R die Umlaufszeit und die mittlere Entfernung eines Planeten von der Sonne, mit t und r die entsprechenden Grössen für einen anderen Planeten, so ist dem dritten Kepler'schen Gesetze zufolge

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{t^2}{r^3},$$

oder in Worten, der Quotient, welchen man erhält, wenn man das Quadrat der Umlaufszeit eines Planeten durch die dritte Potenz seiner mittleren Entfernung von der Sonne dividirt, ist eine constante Grösse.

Drückt man die Umlaufszeit eines Planeten in Tagen aus, während man die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne als Längeneinheit nimmt, so ergiebt sich jener Quotient gleich 133 407, wovon man sich leicht mit Hülfe der in der Tabelle auf S. 140 mitgetheilten Zahlen überzeugen kann.

Die absolute Entfernung der verschiedenen Planeten von der Sonne kannte Kepler zwar noch nicht; zur Aufstellung des dritten Gesetzes war aber auch die Kenntniss dieser absoluten Entfernung gar nicht nöthig, es genügte zu wissen, wie sich die Abstände der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn verhalten, wie denn ja auch in der Tabelle auf S. 140 der Halbmesser der Erdbahn als Längeneinheit genommen ist, mit welcher die Abstände der übrigen Planeten von der Sonne gemessen sind.

Gehen wir jetzt zu der Betrachtung der einzelnen Planeten über.

55 **Mercur.** Mercur steht der Sonne stets so nahe, dass er nie bei voller Nacht, sondern nur in der Morgen- oder Abenddämmerung gesehen werden kann. Der grösste Winkelabstand, bis zu welchem er sich möglicherweise von der Sonne entfernen kann, beträgt 27° 42′. Er kann deshalb nicht leicht beobachtet werden, namentlich in höheren Breiten, wo die Dämmerung länger dauert. Durch das Fernrohr betrachtet, zeigt der Mercur Phasen, welche denjenigen ganz ähnlich sind, die man an der Venus beobachtet und die im nächsten Paragraphen ausführlicher besprochen werden sollen.

Wenn die untere Conjunction des Mercur zu einer Zeit stattfindet, wo dieser Planet sich ganz in der Nähe eines der Knotenpunkte seiner Bahn befindet, so sieht man ihn als einen scharfen schwarzen Punkt vor der Sonnenscheibe vorüberziehen. Solche Durchgänge des Mercur, deren durchschnittlich 13 in einem Jahrhundert stattfinden, sind jedoch mit blossem Auge nicht wahrnehmbar; es bedarf dazu eines Fernrohrs.

Kepler kündigte zuerst einen solchen Durchgang für das Jahr 1631 an und Gassendi beobachtete denselben zu Paris am 6. November des genannten Jahres. Im Reste des gegenwärtigen Jahrhunderts werden solche Vorübergänge des Mercur vor der Sonnenscheibe noch an folgenden Tagen stattfinden:

Am 6. Mai 1878,
„ 7. November 1881*,
„ 9. Mai 1891*,
„ 10. November 1894.

Die beiden mit * bezeichneten Durchgänge sind in Deutschland unsichtbar.

Solche Durchgänge sind sehr geeignet, um den scheinbaren Durchmesser des Mercur zur Zeit seiner unteren Conjunction zu messen.

Die kleinste Entfernung des Mercur von der Sonne beträgt ungefähr 6 Millionen, die grösste 10 Millionen, die mittlere 8 Millionen Meilen.

Die grösste Entfernung, bis zu welcher möglicherweise Mercur sich von der Erde entfernen kann, beträgt 30 Millionen, die kleinstmögliche aber 11 Millionen Meilen.

Bessel bestimmte am Königsberger Heliometer den scheinbaren Durchmesser des Mercur zur Zeit seines Vorüberganges vor der Sonnenscheibe, also zur Zeit, wo er der Erde am nächsten steht, zu 10,5″, wonach sich der wahre Durchmesser gleich 644 geographischen Meilen ergiebt; nach anderen Bestimmungen ist derselbe gleich 670 Meilen.

Bei dem Mercursdurchgang vom 5. November 1868 wurde der scheinbare Durchmesser dieses Planeten von verschiedenen Beobachtern bestimmt. Den kleinsten Werth, 7,8″, fand Stephan in Marseille (wahrscheinlich wegen der Irradiation zu klein), den grössten, 9,48″, fand Wolf in Paris.

Venus. Unter allen Planeten kommt keiner der Erde so nahe als 56
die Venus, welche sich auch durch ihr blendend weisses intensives Licht vor allen übrigen auszeichnet.

Da die grösste Elongation der Venus 45 bis 48° beträgt, so kann dieser Planet schon drei Stunden vor Sonnenaufgang oder noch drei Stunden nach Sonnenuntergang am Himmel sichtbar sein; er kann also bei voller Nacht beobachtet werden.

Die Phasenerscheinungen, welche die Venus darbietet, sind im Wesentlichen dieselben, wie die bereits beim Mercur erwähnten; weil sie aber bei der Venus viel leichter wahrnehmbar sind, so sollen dieselben hier auch ausführlicher besprochen werden.

Nach der oberen Conjunction entfernt sich die Venus rasch von der Sonne, und zwar nach Osten hin, so dass ihr Untergang nach dem

Untergang der Sonne stattfindet, der Planet also in den Abendstunden sichtbar wird, weshalb er zu dieser Zeit den Namen Abendstern führt.

Indem sich Venus östlich von der Sonne entfernt, nimmt ihr Glanz sowohl wie ihr scheinbarer Durchmesser zu. Wenn man sie durch ein Fernrohr betrachtet, so beobachtet man eine Abnahme der Lichtgestalt auf der der Sonne abgewendeten Seite, wenn die Venus sich ihrer grössten Elongation nähert; hat sie aber ihre grösste östliche Entfernung von der Sonne erreicht, so erscheint sie nur noch halb erleuchtet, sie erscheint uns wie der Mond im ersten Viertel.

Fig. 2 Tab. 3 dient dazu, sowohl die scheinbare Bewegung der Venus in Beziehung auf die Sonne als auch den Wechsel der Lichtgestalten anschaulich zu machen; sie stellt nämlich die scheinbare Bewegung der Venus um die Sonne im Jahre 1847 dar. Am 1. Januar 1847 stand die Venus ungefähr 4^0 östlich von der Sonne; am 29. März ging sie, 24^0 von der Sonne entfernt, durch den aufsteigenden Knoten. Den grössten östlichen Abstand von $45^3/_4$ Grad erreichte sie am 21. Juli, nahe um dieselbe Zeit, in welcher sie den niedersteigenden Knoten passirte. Um diese Zeit der grössten Elongation erscheint die Venus halb beleuchtet.

Wegen des starken Glanzes der Venus ist die Abnahme ihrer Lichtgestalt auf der Ostseite erst deutlich wahrzunehmen, wenn dieselbe schon weit vorgeschritten ist.

Nachdem die grösste Elongation erreicht worden ist, nähert sich die Venus anfangs langsam, dann aber sehr rasch der Sonne wieder, wobei ihr scheinbarer Durchmesser bedeutend wächst, während die Lichtgestalt auf der Ostseite mehr und mehr abnimmt. Kurz vor der unteren Conjunction erscheint uns die Venus, durch ein Fernrohr gesehen, nur noch als schmale Sichel, worauf sie dann in den Strahlen der Sonne verschwindet, um nach kurzer Zeit auf der Westseite derselben wieder zu erscheinen. Venus geht nun vor der Sonne auf, sie ist Morgenstern.

Nach der unteren Conjunction nimmt die Lichtgestalt der Venus allmälig wieder zu, bis sie die grösste westliche Elongation erreicht hat, wo sie wieder die Gestalt eines Halbmondes zeigt.

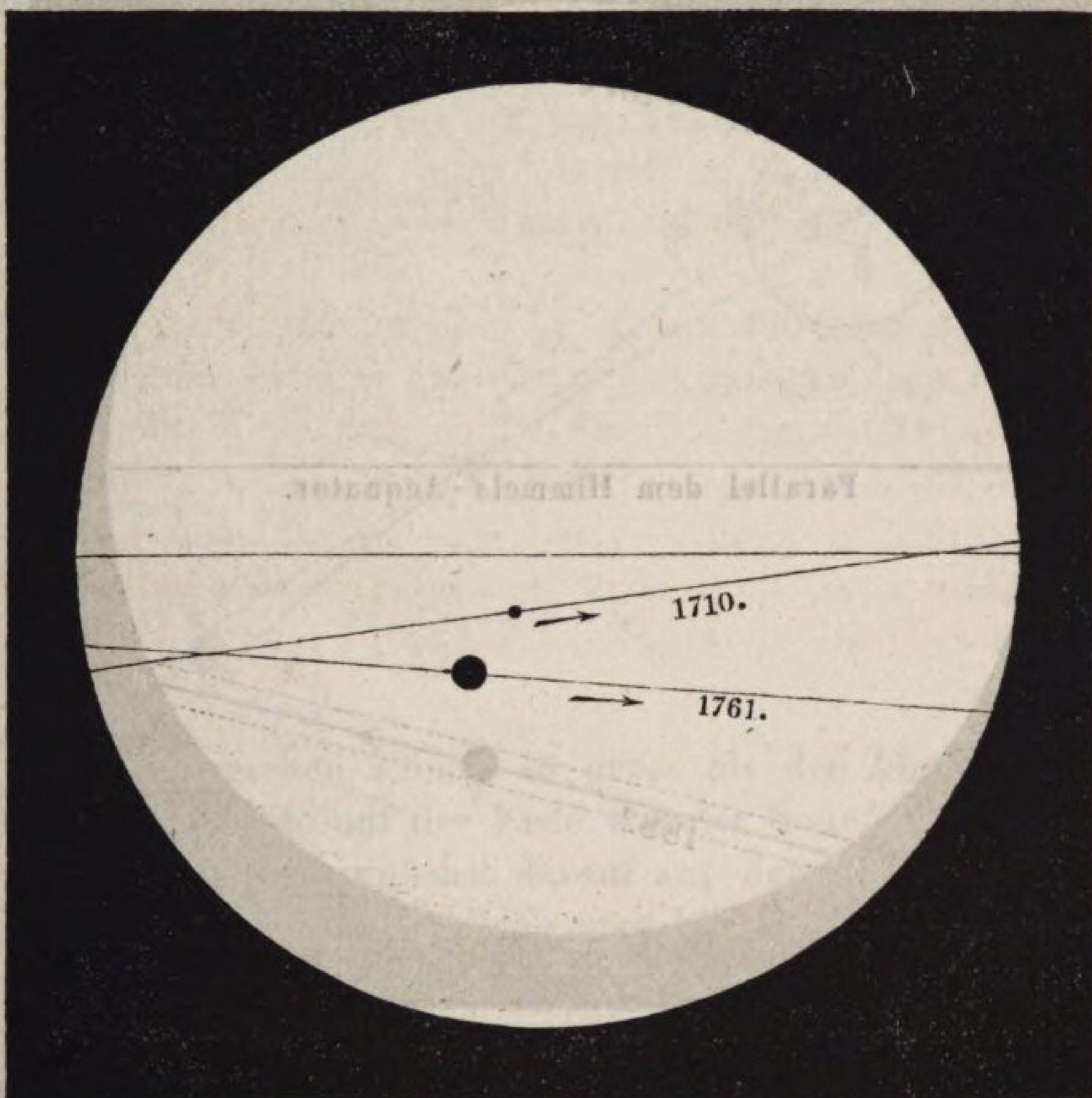
Zur Zeit der unteren Conjunction hatte die Venus im Jahre 1847 eine über 8 Grad betragende südliche Declination, sie ging also unterhalb der Sonne vorüber; zu anderen Zeiten geht sie in gleicher Weise über der Sonne vorüber.

Wenn die untere Conjunction der Venus und der Sonne zu einer Zeit stattfindet, wo die nördliche oder südliche Declination der Venus Null oder doch sehr gering ist, zur Zeit also, wo die Venus den aufsteigenden oder niedersteigenden Knoten passirt, so sieht man die Venus durch Fernröhre als einen völlig schwarzen, scharf begränzten runden Fleck von mehr als 1′ Durchmesser vor der Sonnenscheibe vorübergehen.

Fig. 92 stellt den Venusdurchgang von 1761 und den Mercursdurchgang von 1710 dar.

Nach dem eben Gesagten kann ein Venusdurchgang nur zu einer Zeit stattfinden, wo sich die Erde ganz in der Nähe von einem der

Fig. 92.



Punkte *f* oder *g*, Tab. VII., befindet, in welchen die Knotenlinie *AB* der Venusbahn die Erdbahn schneidet. In *f* befindet sich die Erde am 5. Juni, in *g* aber am 7. December.

Es kann demnach ein Venusdurchgang nur stattfinden, wenn eine untere Conjunction der Venus an einem der Tage vom 2. bis 8. Juni oder vom 4. bis 10. December eintritt.

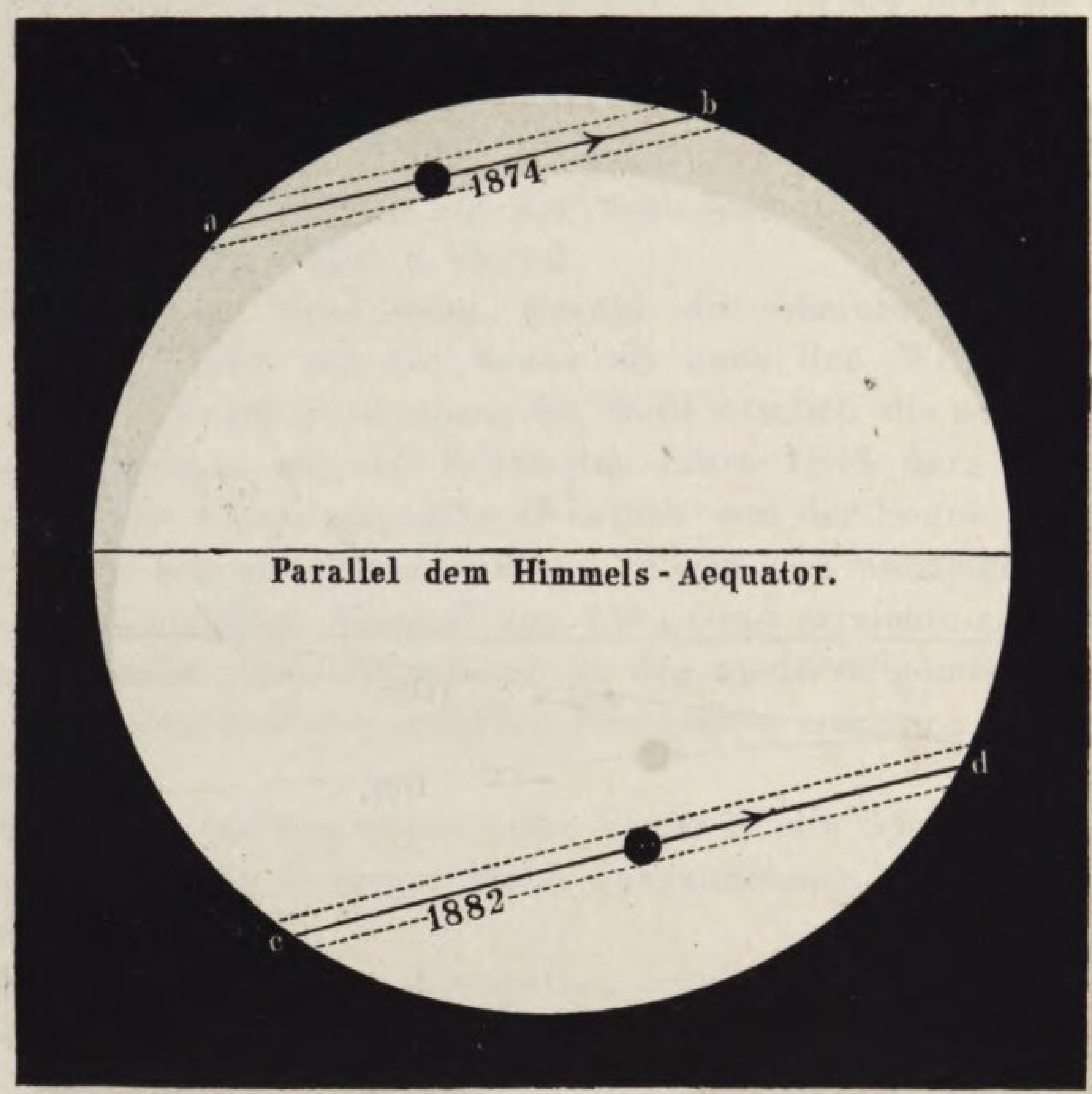
Der erste Venusdurchgang, welcher beobachtet wurde, fand am 4. December 1639 Statt. Danach ereigneten sich zwei Durchgänge am 6. Juni 1761 und am 3. Juni 1769. Die nächsten vier Durchgänge werden stattfinden:

Am 8. December 1874,
„ 6. December 1882,
„ 7. Juni 2004,
„ 5. Juni 2012.

In Fig. 93 stellt *ab* den Weg dar, welchen am 8. December 1874 der Mittelpunkt der Venus vom Mittelpunkt der Erde aus gesehen auf der Sonnenscheibe zurücklegen wird. Die gleiche Bedeutung hat die

Linie *cd* für den Venusdurchgang von 1882. Der Venusdurchgang von 1874 ist für Europa nicht sichtbar, weil er zu einer Zeit stattfindet (un-

Fig. 93.



gefähr von 2 Uhr Nachts bis 6 Uhr Morgens), in welcher die Sonne für diesen Welttheil nicht über dem Horizont steht. Der Durchgang vom 6. December 1882 dagegen findet für Europa in den Nachmittagsstunden (ungefähr von 2 Uhr Nachmittags an) Statt.

Es ist bereits oben S. 119 angeführt worden, dass die Beobachtung der Venusdurchgänge von grosser Wichtigkeit für die Bestimmung der Sonnenparallaxe ist; wir wollen nun sehen, worin das Wesentliche dieser Bestimmungsmethode besteht.

Es sei *T*, Fig. 94, die Erde, *S* die Sonne und zwischen beiden stehe die Venus in *v*. Von verschiedenen Orten der Erde aus gesehen erscheint natürlich die Venus auf verschiedene Stellen der Sonnenscheibe projicirt, z. B. von *a* aus gesehen in *d*, von *b* aus gesehen in *c*. *ef* ist der Weg, welchen die Venus, von *b* aus gesehen, auf der Sonnenscheibe zurücklegt, *gh* ist der dem Beobachtungspunkte *a* entsprechende Weg.

Der Abstand *cd* der beiden Linien *ef* und *gh* verhält sich zu *ab*, Fig. 94, wie *dv* zu *av* oder wie die Entfernung der Venus von der Sonne zu der Entfernung der Venus von der Erde.

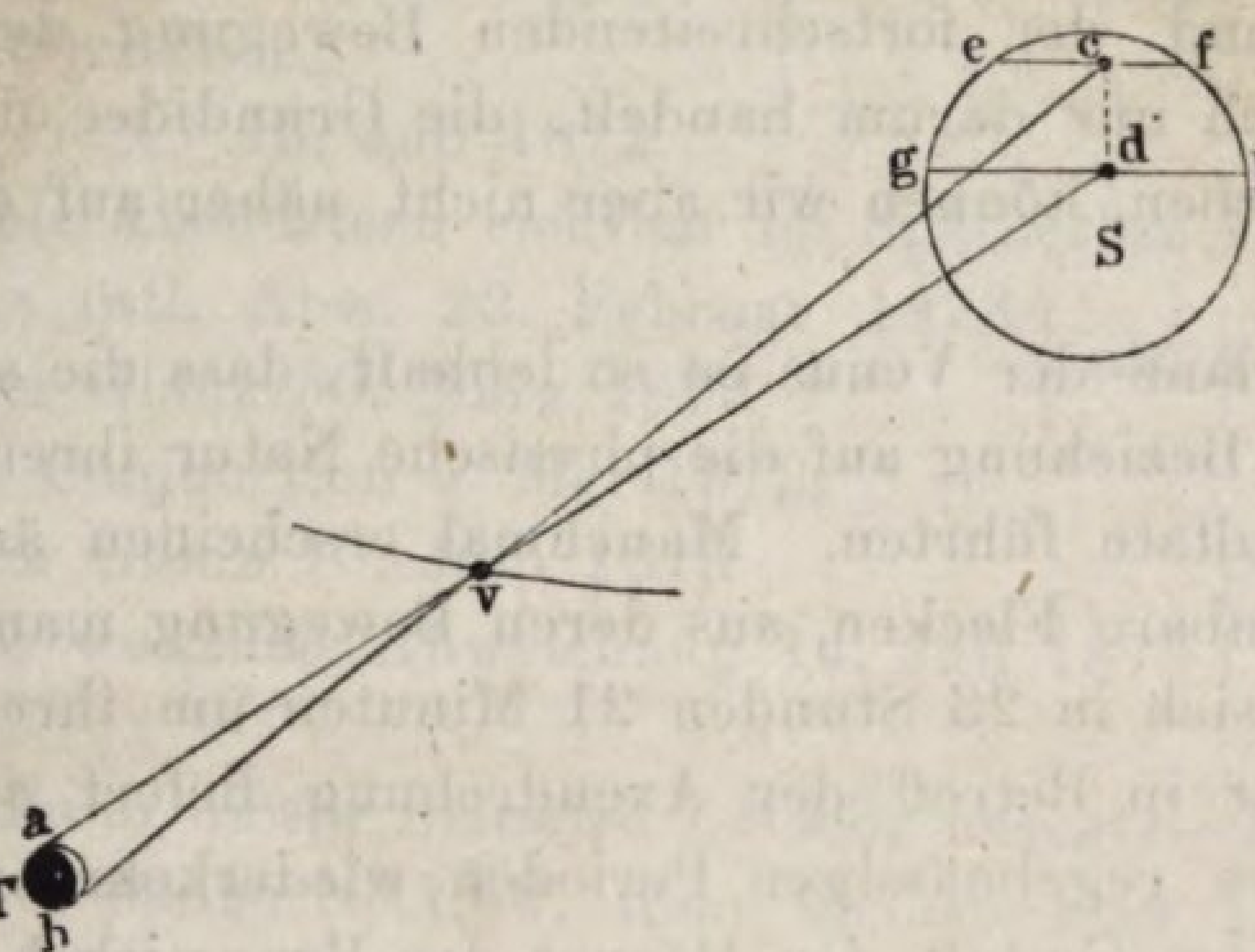
Bezeichnet man den Abstand der Erde von der Sonne mit 1, so ist der Abstand der Venus von der Sonne 0,723, also der Abstand der Ve-

nus von der Erde zur Zeit der unteren Conjunction 0,277; wir haben also:

$$ab : cd = 0{,}277 : 0{,}723, \text{ und daraus ergiebt sich:}$$
$$cd = 2{,}6\ ab.$$

Der Abstand der beiden Linien *ef* und *gh*, in welchen, von *a* und *b* aus gesehen, die Venus vor der Sonnenscheibe hergeht, erscheint also

Fig. 94.



von der Erde aus gesehen 2,6mal so gross als der Abstand *ab* der beiden Beobachtungspunkte auf der Erde von der Sonne aus gesehen.

Es kommt also nun zunächst darauf an, den Abstand *cd* zu ermitteln. Dieser ergiebt sich aber, wenn man in *a* sowohl wie in *b* die Zeitdauer beobachtet, während welcher die Venus vor der Sonnenscheibe verweilt; aus der Zeit nämlich, welche der Planet braucht, um von *a* aus gesehen die Sehne *gh* und von *b* aus gesehen die Sehne *ef* zu beschreiben, kann man auf die Länge dieser Sehnen, und da der scheinbare Durchmesser der Sonne bekannt ist, auf ihre Lage auf der Sonnenscheibe schliessen, woraus sich alsdann auch der von der Erde aus gesehene Winkelabstand der beiden Sehnen ergiebt.

Nun aber ist *ab* 2,6mal kleiner als *cd* und somit ergiebt sich also auch aus diesen Beobachtungen, unter welchem Winkel, von der Sonne aus gesehen, die Sehne *ab* erscheint, woraus sich dann leicht die Horizontalparallaxe der Sonne, d. h. der Winkel ergiebt, unter welchem der Radius der Erde, von der Sonne aus gesehen, erscheint.

Am 3. Juni 1769 wurde der Venusdurchgang an vielen Orten der Erde beobachtet. Besonders günstig zur Berechnung der Sonnenparallaxe waren die Beobachtungsorte Cajanaburg in Finnland (64^0 13′ nördl. Br.) und O-Taiti in der Südsee (17^0 südl. Br.). Am ersteren Orte betrug die Dauer des Durchganges 6^h 11′ 40″, am letzteren 5^h 48′ 4″, woraus sich der schon oben erwähnte Werth für die Horizontalparallaxe der Sonne, nämlich 8,6 Secunden ergiebt.

Die punktirten Linien über *ab* und *cd* in Fig. 94 bezeichnen den Weg, welchen der Mittelpunkt der Venus am 8. December 1874 und am

6. December 1882 auf der Sonnenscheibe zurücklegen würde, wenn man den Durchgang vom Südpol der Erde aus beobachten könnte. Die punktirten Linien unter *ab* und *cd* haben die gleiche Bedeutung für den Fall, dass der Durchgang der Venus auf dem Nordpol der Erde beobachtet würde.

Die Berechnung der Sonnenparallaxe nach obiger Methode wird dadurch etwas verwickelter, dass die Durchgangszeiten durch die Ortsveränderung modificirt werden, welche die Beobachtungsorte in Folge der Axendrehung und der fortschreitenden Bewegung der Erde erleiden. Hier, wo es sich nur darum handelt, die Grundidee der Methode verständlich zu machen, können wir aber nicht näher auf diese Details eingehen.

Der Lichtglanz der Venus ist so lebhaft, dass die sorgfältigsten Beobachtungen in Beziehung auf die physische Natur ihrer Oberfläche noch zu keinem Resultate führten. Manchmal erscheinen äusserst schwache, kaum wahrnehmbare Flecken, aus deren Bewegung man geschlossen hat, dass die Venus sich in 23 Stunden 21 Minuten um ihre Axe dreht. Fast dasselbe Resultat in Betreff der Axendrehung liefert auch die Beobachtung gewisser in regelmässigen Perioden wiederkehrender kleiner Veränderungen in der Gestalt der Hörner der Venussichel.

Das blendende Licht der Venussichel verliert sich allmälig gegen die Nachtseite der Venus hin; es findet hier keine scharfe Gränze zwischen Licht und Dunkel Statt, wie beim Mond, und daraus hat man geschlossen, dass auf der Venus wie auf der Erde vor dem Aufgange und nach dem Untergange der Sonne eine Dämmerung stattfinde, dass also die Venus von einer Atmosphäre umgeben sei.

Nach den Beobachtungen von Schröter sollen einzelne Venusberge fünf- bis sechsmal so hoch sein als die höchsten Gebirge der Erde.

Unter allen Planetenbahnen hat die Bahn der Venus die geringste Excentricität. Ihre mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 15 Millionen, der Unterschied zwischen ihrem grössten und ihrem kleinsten Abstande von der Sonne beträgt nur 200 000 Meilen.

Die Venus kann sich der Erde bis auf $5^1/_4$ Millionen Meilen nähern und sich bis auf 36 Millionen Meilen von ihr entfernen.

Der scheinbare Durchmesser der Venus beträgt zur Zeit ihrer unteren Conjunction ungefähr 62″.

Der wahre Durchmesser der Venus beträgt 1717 Meilen; sie ist also fast eben so gross wie die Erde.

57 **Die nächsten Erscheinungen der Venus.** Am 7. December 1870 kommt Venus in obere Conjunction mit der Sonne, von welcher sie sich nun langsam nach Osten hin entfernt, so dass sie im Frühjahr 1871 als Abendstern sichtbar wird. Ihre grösste östliche Abweichung erreicht sie am 18. Juli 1871, wo sie um $9^h\ 50^m$ untergeht. Nun nähert sie sich der Sonne wieder und zwar anfangs langsam, dann

aber, nachdem sie am 19. August ihren grössten Glanz erreicht hat, sehr rasch, so dass sie schon am 26. September mit der Sonne in untere Conjunction kommt. Nachdem Venus kurze Zeit vor und nach der unteren Conjunction unsichtbar geblieben war, erscheint sie wieder als Morgenstern, erreicht als solcher ihren grössten Glanz am 5. November 1871 und ihre grösste westliche Abweichung am 6. December 1871.

Die nun folgende Erscheinungsperiode der Venus lässt sich nach folgenden Daten übersehen:

♀ obere ☌ ☉ 15. Juli 1872,
♀ wird als Abendstern sichtbar im Spätherbst 1872,
♀ grösste östl. Abw. 22. Februar 1873 } als Abendstern,
♀ grösster Glanz 30. März 1873 }
♀ untere Conjunction 5. Mai 1873,
♀ grösster Glanz 10. Juni 1873 } als Morgenstern.
♀ grösste westliche Abweichung 14. Juli 1873 }

Mars. Die Bahn dieses Planeten ist sehr excentrisch; seine grösste 58
Entfernung von der Sonne ist 1,66, seine kleinste aber 1,38mal so gross als der mittlere Abstand der Erde von der Sonne. Der mittlere Abstand des Mars von der Sonne beträgt 32 Millionen Meilen. Der Erde kann sich dieser Planet bis auf $7^3/_4$ Millionen Meilen nähern und sich bis auf 55 Millionen Meilen von ihr entfernen.

Als oberer Planet kann der Mars nie zwischen Erde und Sonne zu stehen kommen, also nie einen vollständigen Phasenwechsel zeigen wie Venus und Mercur. Zur Zeit der Conjunction und der Opposition erscheint er als volle kreisförmige Scheibe, die aber bis zur Quadratur auf der von der Sonne abgewendeten Seite abnimmt, so dass um diese Zeit die Marsscheibe ungefähr so erscheint wie der Mond vier Tage vor oder nach dem Vollmonde.

Mit blossem Auge gesehen zeigt Mars ein entschieden rothes Licht. Mit dem Fernrohr betrachtet zeigt er Flecken, aus deren Bewegung man gefolgert hat, dass dieser Planet seine Axendrehung in 24 Stunden 37 Minuten vollendet. An den Polen erscheint er schwach abgeplattet. Nach Arago's Messungen beträgt diese Abplattung $^1/_{39}$.

An den Polen des Mars zeigen sich zwei sehr deutliche weisse Flecken, wie man Fig. 3 auf Tab. X. sieht, welche den Anblick des Mars durch stark vergrössernde Fernrohre zeigt. Diese Flecken nehmen abwechselnd an Grösse ab und zu. Es ist wahrscheinlich, dass dieselben von grossen Schnee- und Eismassen herrühren, welche sich während des Winters an den Polen anhäufen und dann während des Sommers wieder abnehmen. Aus der Beobachtung dieser Flecken hat man geschlossen, dass der Aequator des Mars einen Winkel von $28^0\ 42'$ mit seiner Bahn macht; es findet also auf diesem Planeten ein Wechsel der Jahreszeiten in ähnlicher Weise Statt wie auf der Erde.

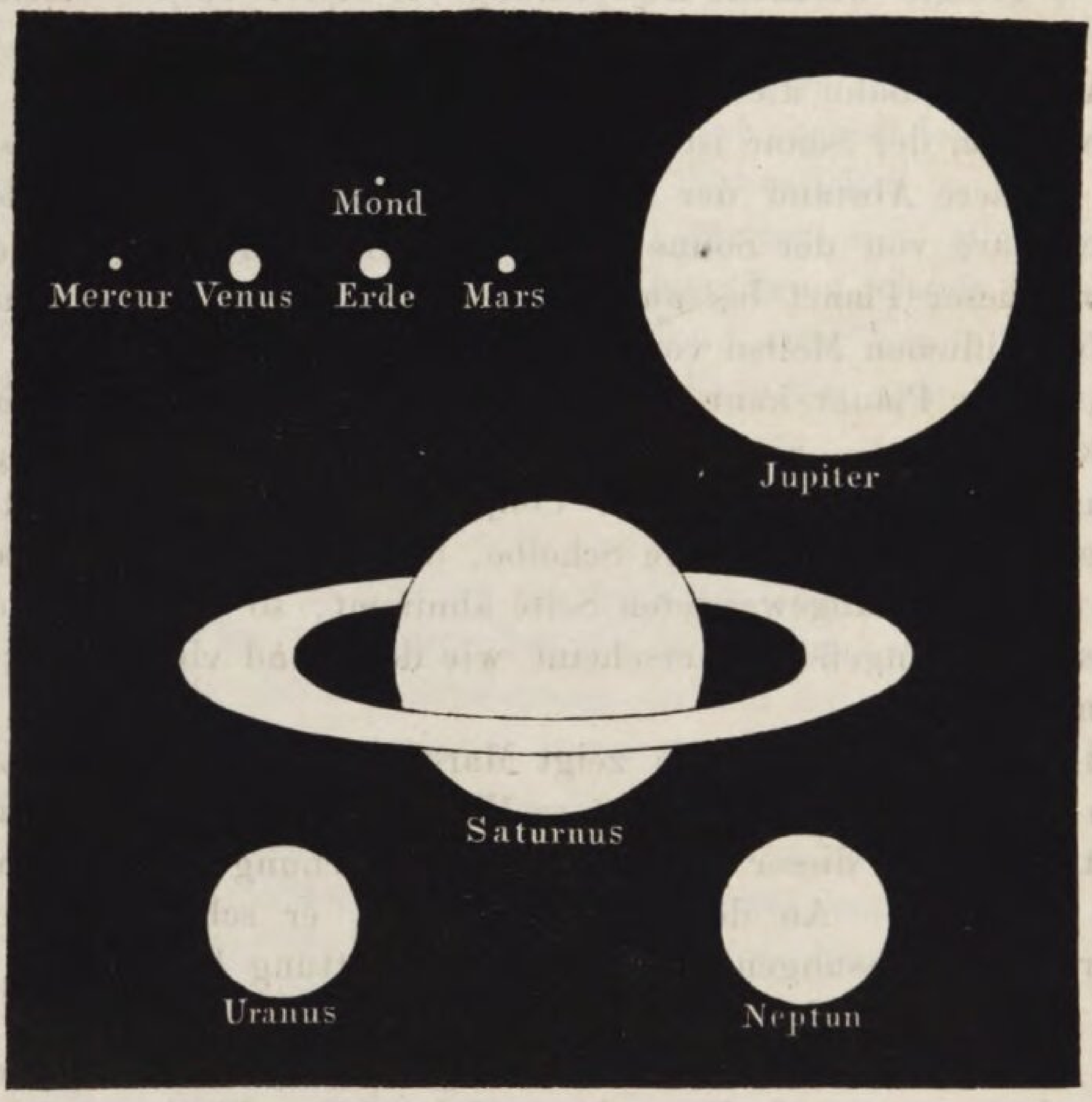
Zur Zeit der Opposition erscheint der Durchmesser des Mars unter einem Winkel von 22 bis 24 Secunden, während der wahre Durchmesser dieses Planeten 884 oder nach neueren Bestimmungen 918 Meilen beträgt.

59 **Jupiter.** Die Entfernung des Jupiter von der Sonne variirt zwischen $102^1/_2$ und zwischen $112^1/_2$ Millionen Meilen. Der Erde nähert er sich bis auf 82 Millionen und entfernt sich von ihr bis auf 133 Millionen Meilen.

Der scheinbare Durchmesser des Jupiter ist 49 Secunden zur Zeit der Opposition, aber nur 30″ zur Zeit der Conjunction.

Jupiter ist sehr stark abgeplattet; der Polardurchmesser ist um $^1/_{14}$ kleiner als der Aequatorealdurchmesser, welcher 20000 Meilen beträgt, also ungefähr 11mal grösser ist als der Durchmesser der Erde.

Fig. 95.



Jupiter ist unter allen Planeten der grösste; sein Grössenverhältniss zur Sonne ist bereits durch Fig. 79 auf Seite 120 anschaulich gemacht worden; in gleicher Weise dient Fig. 95 dazu, das Grössenverhältniss des Jupiter zu den übrigen Planeten zu versinnlichen. Man sieht aus dieser Figur, dass der Grösse nach auf den Jupiter der Saturn und auf diesen Neptun und Uranus folgen. Venus und Erde sind nahe gleich gross, Mars ist weit kleiner, Mercur kaum grösser als unser Mond.

Mit guten Fernrohren beobachtet man auf der Jupiterscheibe parallele dunklere Streifen, deren Gestalt und Lage ziemlich veränderlich ist. Gewöhnlich sind zwei solcher Streifen gegen die Mitte der Scheibe hin besonders deutlich. Ausserdem beobachtet man oft noch Flecken, welche nach einiger Zeit wieder verschwinden. Fig. 1 und Fig. 2 auf Tab. X. zeigen das Ansehen des Jupiter, wie derselbe von Mädler und Beer am 2. Januar 1835 und am 4. Januar 1836 beobachtet wurde. Die schwärzlichen Flecken, die man in der einen Jupitersfigur auf Tab. X. bemerkt, waren vom 4. November 1834 bis zum 18. April 1835 sichtbar, während der Streifen, auf welchem sie sich befinden, im Laufe des Februar verschwand.

Aus der Beobachtung solcher Flecken ergiebt sich, dass sich Jupiter mit grosser Geschwindigkeit um seine Axe dreht, und zwar vollendet er seine Axendrehung in 9 Stunden 55 Minuten. Die oben besprochenen Streifen sind dem Aequator des Jupiter parallel, welcher nur einen Winkel von 3⁰ mit der Ebene der Jupitersbahn macht, woraus sich ergiebt, dass der Wechsel der Jahreszeiten auf diesem Planeten kaum merklich sein kann.

Die bedeutende Abplattung des Jupiter ist eine Folge seiner raschen Axendrehung.

Jupiter wird von vier Trabanten umkreist deren nähere Betrachtung weiter unten folgt.

Die nächsten Sichtbarkeitsperioden des Jupiter. Im 60
August 1870 geht Jupiter um Mitternacht auf. Von da an rückt die Aufgangszeit dieses Planeten erst auf die späteren, dann auf die früheren Abendstunden vor und er bleibt dann in den früheren Abendstunden bis in den Mai 1871 sichtbar.

Am 18. September 1870 kommt ♃ □ ☉, er culminirt zu dieser Zeit um 6 Uhr Morgens und geht ungefähr um 10 Uhr Abends auf. Am 13. December 1870 kommt Jupiter in Opposition mit der Sonne (♃ ☍ ☉) und geht jetzt schon 15 Minuten vor 4 Uhr Nachmittags auf und culminirt um Mitternacht.

Am 8. März 1871 kommt Jupiter abermals in Quadratur mit der Sonne und zwar so, dass er 6 Stunden nach der Sonne (um 6 Uhr Abends) culminirt. Sein Untergang findet um diese Zeit um 2 Uhr Nachts Statt. Gegen Ende April geht Jupiter um Mitternacht zu Anfang Juni um 10 Uhr Abends unter, um sich alsbald in den Strahlen der Sonne zu verlieren.

Jupiter (wie überhaupt alle oberen Planeten) ist überhaupt in den Abendstunden sichtbar in der Zeit zwischen der Quadratur vor und der Quadratur nach der Opposition.

Betrachten wir nun den Weg, welchen Jupiter in dieser Zeit am gestirnten Himmel durchläuft. In der Mitte des August 1870 steht ♃ ungefähr südlich von β des Stiers und etwas nördlich von der Ekliptik,

also in der Nähe des Punktes, welcher auf der Sternkarte Tab. IV. als Stand der Sonne am 10. Juni bezeichnet ist. Bis zur Mitte des October rückt er nach Osten bis in die Nähe der Stelle vor, welche die Sonne am 18. Juni einnahm und wird hier stationär, er beginnt also seine rückläufige Bewegung. Zur Zeit seiner Opposition (gegen die Mitte des December) steht ♃ ganz nahe der Stelle, welche er in der Mitte August einnahm; er setzt seine rückläufige Bewegung fort bis zum 9. Februar 1871, wo er wieder stationär und dann rechtläufig wird. Der Weg, den ♃ vom 13. December 1870 bis zum 9. Februar 1871 rückläufig, also von Ost nach West fortschreitend zurücklegt, beträgt ungefähr 11^0 (22 Vollmondbreiten), er erreicht also am 9. Februar 1871 beinahe die Verbindungslinie der Sterne α und β tauri. Wieder rechtläufig geworden erreicht ♃ in den ersten Tagen des Mai 1871 ohngefähr die Stelle, welche er beim Beginn seiner Rückläufigkeit eingenommen hatte.

Nachdem nun Jupiter meist unsichtbar in rechtläufiger Richtung einen ziemlich grossen Weg (ungefähr 30^0) zurückgelegt hat, erscheint er von der Mitte September 1871 an, wo er um Mitternacht aufgeht, wieder in den späteren Abendstunden und er steht jetzt an der Gränze der Sternbilder der Zwillinge und des Krebses. Es kommt nun

♃ □ ⊙ am 22. October 1871,
♃ wird stationär und alsdann rückläufig am 16. November 1871,
♃ ☍ ⊙ am 15. Januar 1872,
♃ wird stationär und dann rechtläufig am 15. März 1872,
♃ □ ⊙ am 10. April 1872.

Die Schleife, welche Jupiter bei dieser Oppositionsperiode bildet, fällt zum Theil in das Sternbild des Krebses, zum Theil in das Sternbild der Zwillinge.

Für die nun folgende Oppositionsperiode haben wir folgende Data:

♃ □ ⊙ am 22. November 1872,
♃ wird stationär und rückläufig am 17. December 1872,
♃ ☍ ⊙ am 14. Februar 1873,
♃ wird stationär und rechtläufig am 17. April 1873,
♃ □ ⊙ am 12. Mai 1873.

Jupiter ist also wieder in den Abendstunden sichtbar vom November 1872 bis Ende Mai 1873.

Der ungefähr 11^0 lange Weg, den Jupiter in rückläufiger Richtung zurücklegt, liegt diesmal im grossen Löwen und zwar ohngefähr zu $^1/_3$ östlich und zu $^2/_3$ westlich von Regulus (α leonis), er geht also zweimal sichtbar nahe bei α leonis vorbei und zwar kommt

♃ ☌ α leonis am 6. November 1872 (rechtläufig),
♃ ☌ α leonis am 18. Januar 1873 (rückläufig).

Saturn. Der grösste Abstand dieses Planeten von der Sonne be- 61
trägt $208\frac{1}{4}$, sein kleinster $186\frac{1}{4}$ Millionen Meilen. Seine Entfernung von der Erde wechselt zwischen $165\frac{1}{2}$ und 229 Millionen Meilen.

Der scheinbare Durchmesser der Saturnskugel variirt zwischen 21″ (Opposition) und 15″ (Conjunction), der wahre Durchmesser des Saturn aber beträgt 16 305 Meilen. Er ist also ungefähr 9mal so gross als der Durchmesser der Erde.

Die siderische Umlaufszeit des Saturn beträgt 29 Jahre 166 Tage 23,25 Stunden.

Seine Abplattung beträgt etwas weniger als $\frac{1}{10}$ des Aequatorealdurchmessers.

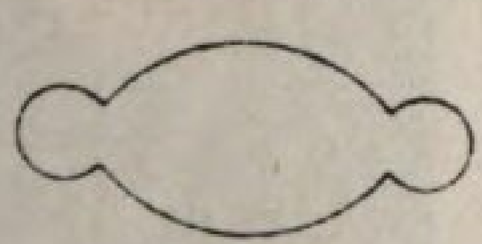
Saturn zeigt ähnliche Streifen wie der Jupiter, nur sind sie nicht so deutlich. Aus der Beobachtung einzelner Flecken hat man geschlossen, dass die Umdrehung um die Axe in 10^h 29′ vollendet wird. Die Ebene des Saturnsäquators macht einen Winkel von 28^0 40′ mit seiner Bahn.

Vor allen anderen Planeten ist Saturn durch einen Ring ausgezeichnet, welcher in der Ebene des Saturnsäquators freischwebend den Planeten umgiebt. Fig. 4 auf Tab. X. stellt den Saturn mit seinem Ringe dar, wie ihn sehr gute und stark vergrössernde Fernrohre zeigen. Dieser Ring ist ziemlich breit und dabei sehr dünn.

Die grosse Axe des Saturnsringes erscheint uns zur Zeit der Opposition ungefähr unter einem Winkel von 47 Secunden.

Mit blossem Auge ist diese merkwürdige Erscheinung nicht wahrnehmbar, und die ersten Astronomen, welche den Saturn durch Fernrohre beobachteten, konnten über das wahre Wesen derselben noch nicht ins Reine kommen. Fig. 96 stellt die Abbildung dar, welche Galiläi vom Saturn gab und der ihn tergeminum oder tricorporeum nannte. Hevel stellte den Saturn als gleichsam mit zwei Henkeln versehen dar; erst Huyghens kam auf die richtige Vorstellung.

Fig. 96.

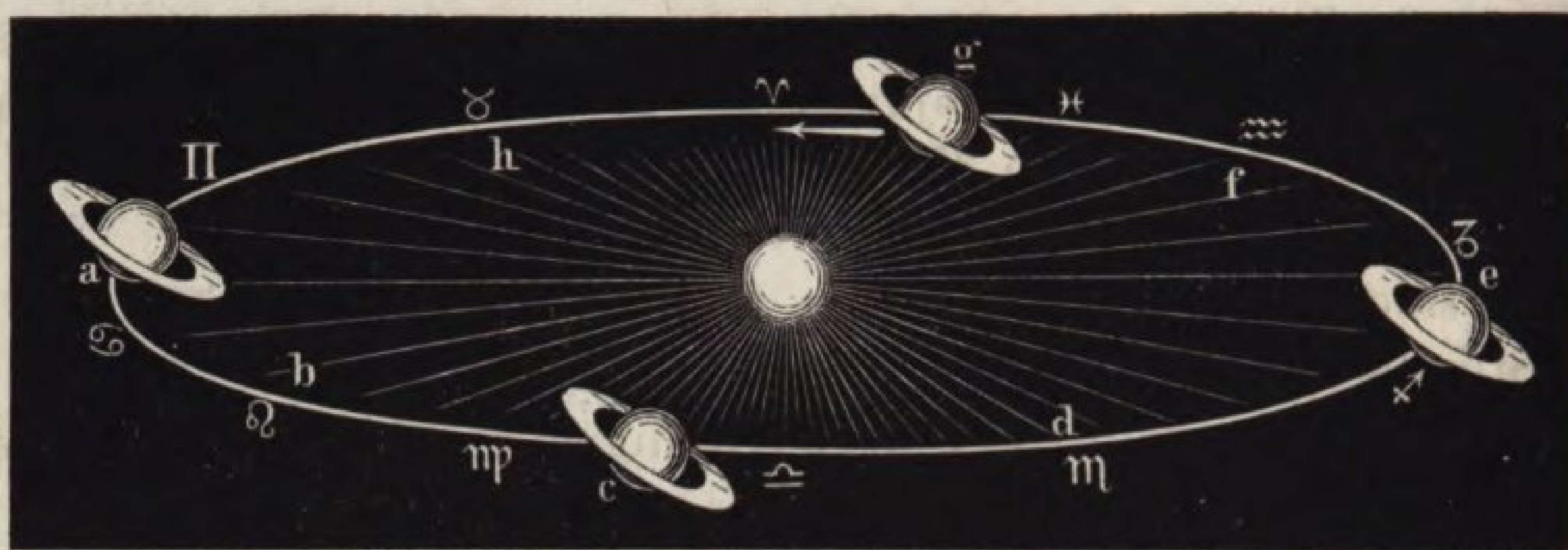


Der Anblick, welchen uns der Saturnsring darbietet, ist keineswegs stets derselbe; denn die Umdrehungsaxe des Saturn behält im Weltraume stets dieselbe Richtung, wie dies ja auch bei der Erdaxe der Fall ist, folglich wird die Ebene des Saturnsringes stets parallel mit sich selbst verschoben, wie dies Fig. 97 (a. f. S.) dargestellt ist.

Wenn die heliocentrische Länge des Saturn ungefähr 344^0 ist, wenn er also ungefähr in der Mitte des Zeichens der Fische sich befindet (bei *g*, Fig. 97), so liegt die Sonne in der verlängerten Ringebene; von der Sonne aus gesehen wird also der Ring des Saturn zur Linie verkürzt erscheinen. Bewegt sich nun der Planet in der Richtung des Pfeiles weiter, so wird man alsbald von der Sonne aus auf die Nordseite des Ringes sehen können; er erscheint zunächst als eine flache Ellipse, deren kleine Axe mehr und mehr wächst, bis sie endlich ihr Maximum erreicht,

wenn Saturn ungefähr in der Mitte des Zeichens der Zwillinge, also bei *a*, Fig. 97, steht.

Fig. 97.



Der Ring verschwindet wieder, wenn Saturn im Zeichen der Jungfrau steht; er erscheint wieder in seiner grössten Breite, wenn der Planet in der Mitte des Zeichens des Schützen angelangt ist.

Die Erde steht der Sonne im Verhältniss zum Halbmesser der Saturnsbahn so nahe, dass von ihr aus der Saturnsring fast ebenso gesehen wird, wie er von der Sonne aus gesehen erscheint.

Da die siderische Umlaufszeit des Saturn fast 30 Jahre beträgt, so wird einem vollständigen Cyclus der Ringgestalten ein Zeitraum von 30 Jahren entsprechen.

Fig. 1 und Fig. 2 auf Tab. 7 stellen die wesentlichsten Veränderungen der Ringgestalt während eines Umlaufs des Saturn dar, und zwar mit Angabe der Jahre, in welchen er diese Gestalten zeigte oder zeigen wird. Im Jahre 1855 erschien der Ring so ziemlich in seiner grössten Breite; im Jahre 1863 erschien er uns zur Linie verkürzt und von da an bis 1877, wo der Ring abermals verschwindet, sehen wir auf seine südliche Fläche.

Bis jetzt hat man 8 Saturnstrabanten entdeckt.

62 **Die nächsten Oppositionsperioden des Saturn.** Die scheinbaren Bahnen des Saturn haben grosse Aehnlichkeit mit denen des Jupiter, nur sind die Schleifen und der Abstand zweier auf einander folgenden Schleifen kleiner als beim Jupiter. Der in rückläufiger Richtung zurückgelegte Weg beträgt ungefähr 7^0 und der Abstand von einem Wendepunkt bis zum gleichnamigen Wendepunkt des nächsten Jahres beträgt gegen 13^0.

Während die nächsten Oppositionsperioden des Jupiter in den Winter fallen, finden die nächsten Oppositionen des Saturn im Sommer Statt. Für die nächsten Erscheinungen des Saturn haben wir folgende Data:

Für das Jahr 1871:

♄ □ ☉ am 30. März,

♄ wird stationär und rückläufig am 19. April,

Tab. 7.

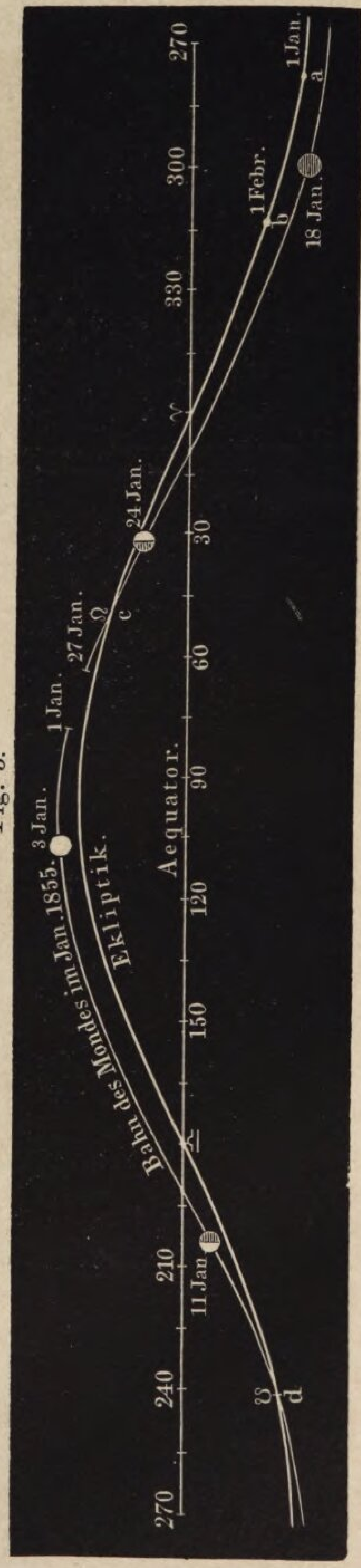
Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.



♄ ☍ ☉ am 28. Juni,
♄ wird stationär und rechtläufig am 7. September,
♄ □ ☉ am 26. September.

Für das Jahr 1872:

♄ □ ☉ am 10. April,
♄ wird stationär und rückläufig am 29. April,
♄ ☍ ☉ am 9. Juli,
♄ wird stationär und rechtläufig am 17. September,
♄ □ ☉ am 7. October,
♄ ☋ am 10. December.

Für das Jahr 1873:

♄ □ ☉ am 22. April,
♄ wird stationär und rückläufig am 12. Mai,
♄ ☍ ☉ am 21. Juli,
♄ wird stationär und rechtläufig am 29. September,
♄ □ ☉ am 19. October.

Die Schleife der Saturnsbahn fällt für das Jahr 1871 und für das Jahr 1872 in das Sternbild des Schützen und zwar ist die Rectascension des Saturn am 28. Juni 1871 $18^h\ 28^m\ 38^s$ und am 9. Juli 1872 $19^h\ 17^m\ 50^s$. Für das Jahr 1873 fällt die Schleife der Saturnsbahn bereits in das Sternbild des Steinbocks.

Uranus. Wir haben bis jetzt nur diejenigen Planeten betrachtet, 63
welche mit blossem Auge sichtbar sind. Selbst nachdem die Fernrohre erfunden waren, dauerte es noch geraume Zeit, bis sie zur Entdeckung neuer Planeten führten.

Am 13. März 1781 beobachtete Herschel im Bilde der Zwillinge einen Stern, der sich durch einen merklichen Durchmesser auszeichnete und schon am nächsten Abend eine kleine Ortsveränderung zeigte. Es stellte sich durch fortgesetzte Beobachtung dieses Sternes alsbald heraus, dass er ein Planet sei, welcher noch jenseits der Saturnsbahn um die Sonne kreist.

Nach Bode's Vorschlag wurde der neue Planet Uranus (♅) genannt.

Uranus erscheint höchstens als ein Stern sechster Grösse, und nur durch ganz ausgezeichnete Fernrohre erscheint sein Durchmesser gross genug, um ihn von einem Fixsterne zu unterscheiden.

Die siderische Umlaufszeit des Uranus beträgt 84 Jahre 5 Tage 19 Stunden 41,6 Minuten. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist 19,18mal so gross als der Abstand der Erde von der Sonne oder $396\frac{1}{2}$ Millionen Meilen. Die Excentricität seiner Bahn ist 0,0466.

Die Neigung seiner Bahn ist nur 46,5′; die Länge des aufsteigenden Knotens 72° 59′ 21″; die Länge des Periheliums ist 167° 30′ 24″.

In seiner Erdnähe ist sein scheinbarer Durchmesser 4,3″ und daraus ergiebt sich, dass sein wahrer Durchmesser gleich 7466 Meilen ist.

Zwei auf einander folgende Oppositionen des Uranus sind am Himmel nur um 4½ Grad von einander entfernt.

Uranus ist gleichfalls von mehreren Trabanten umkreist, welche später näher betrachtet werden sollen.

64 **Die kleinen Planeten.** Wenn man die Abstände der älteren Planeten von der Sonne aufmerksam betrachtet, so findet man zwischen Mars und Jupiter eine auffallende Lücke. Bezeichnet man nämlich den Abstand des Mercur von der Sonne mit 4, so hat man für

Mercur . . .	4		
Venus . . .	7,5	also nahezu	$4 + 1 \times 3$
Erde . . .	10,3	„ „	$4 + 2 \times 3$
Mars . . .	15,7	„ „	$4 + 4 \times 3$
Jupiter . .	53,7	„ „	$4 + 16 \times 3$
Saturn . . .	98,3	„ „	$4 + 32 \times 3$.

In obiger Reihe der Factoren von 3 ist jeder folgende doppelt so gross als der vorhergehende, nur fehlt zwischen 4×3 (Mars) und 16×3 (Jupiter) das Glied 8×3. Diese Lücke, welche schon Kepler auffiel, veranlasste unter den Astronomen die Hoffnung, zwischen Mars und Jupiter einen neuen Planeten aufzufinden. Namentlich war es Bode, welcher diese Ansicht vertrat.

Diese Hoffnung ist verwirklicht worden; aber statt eines einzigen Planeten, welchen man zwischen Mars und Jupiter vermuthete, sind ihrer bereits über 100 entdeckt worden, die man mit dem gemeinschaftlichen Namen der kleinen Planeten oder der Planetoiden bezeichnet.

Am 1. Januar 1801 erblickte Piazzi zu Palermo einen kleinen Stern im Sternbilde des Widders, der alsbald eine merkliche Ortsveränderung zeigte und den er zuerst für einen Kometen hielt, dessen planetarische Natur sich aber bald herausstellte; Piazzi legte dem neu entdeckten Planeten den Namen Ceres (⚳) bei.

Ceres unterscheidet sich im Ansehen nicht von einem teleskopischen Sterne siebenter bis neunter Grössse; ihr scheinbarer Durchmesser ist so gering, dass man ihn mit Sicherheit noch nicht bestimmen konnte.

Schon am 28. März 1802 entdeckte Olbers in Bremen einen zweiten zwischen Mars und Jupiter kreisenden Planeten, den er Pallas (⚴) nannte. Dieser Entdeckung folgte am 1. September 1804 die der Juno (⚵) durch Harding in Lilienthal und die der Vesta (⚶) am 29. März 1807 durch Olbers.

Für weitere Entdeckungen von Planeten sind zuverlässige Sternkarten, welche wenigstens die Thierkreiszone umfassen und auch wenigstens die grösseren der teleskopischen Sterne enthalten, von grosser Wichtig-

keit. So entdeckte Henke in Driesen am 8. December 1845 durch Vergleichung des Himmels mit den ausgezeichneten Sternkarten der Berliner Akademie die Asträa und am 1. Juli 1847 die Hebe. Hind in London entdeckte am 13. August 1847 die Iris und am 18. October desselben Jahres die Flora.

Diese in den Jahren 1845 und 1847 entdeckten Planeten kreisen wie die 1801 bis 1804 entdeckten zwischen Mars und Jupiter. In demselben Gürtel wurden aber später noch eine grosse Anzahl kleiner Planetchen aufgefunden, so dass man deren jetzt schon 107 kennt, ihre Namen sind:

1. Ceres.	29. Amphitrite.	57. Mnemosyne.	85. Jo.
2. Pallas.	30. Urania.	58. Concordia.	86. Semele.
3. Juno.	31. Euphrosyne.	59. Olympia.	87. Sylvia.
4. Vesta.	32. Pomona.	60. Danaë.	88. Thisbe.
5. Asträa.	33. Polyhymnia.	61. Echo.	89.
6. Hebe.	34. Circe.	62. Errato.	90. Antiope.
7. Iris.	35. Leucothea.	63. Ausonia.	91. Aegina.
8. Flora.	36. Atalante.	64. Angelina.	92. Undina.
9. Metis.	37. Fides.	65. Cybele.	93.
10. Hygiea.	38. Leda.	66. Maja.	94.
11. Parthenope.	39. Lätitia.	67. Asia.	95. Arethusa.
12. Victoria.	40. Harmonia.	68. Leto.	96. Aegle.
13. Egeria.	41. Daphne.	69. Hesperia.	97. Clotho.
14. Irene.	42. Isis.	70. Panopea.	98. Janthe.
15. Eunomia.	43. Ariadne.	71. Niobe.	99.
16. Psyche.	44. Nysa.	72. Feronia.	100. Hekate.
17. Thetis.	45. Eugenia.	73. Clytia.	101. Helena.
18. Melpomene.	46. Hestia.	74. Galatea.	102. Miriam.
19. Fortuna.	47. Aglaja.	75. Eurydice.	103.
20. Massalia.	48. Doris.	76. Freia.	104.
21. Lutetia.	49. Pales.	77. Frigga.	105.
22. Calliope.	50. Virginia.	78. Diana.	106.
23. Thalia.	51. Nemausa.	79. Eurynome.	107. Camilla.
24. Themis.	52. Europa.	80. Sappho.	
25. Phocäa.	53. Calypso.	81. Terpsychore.	
26. Proserpina.	54. Alexandra.	82. Alcmene.	
27. Euterpe.	55. Pandora.	83. Beatrix.	
28. Bellona.	56. Melete.	84. Clio.	

Von diesen kleinen Planeten wurden 9 von Hind, 9 von Gasparis, 15 von Luther, 13 von Goldschmidt, 7 von Chacornac u. s. w. entdeckt.

Alle diese Planeten sind teleskopisch. Für die meisten derselben ist es noch nicht gelungen, den scheinbaren Durchmesser mit Sicherheit zu messen. Der wahre Durchmesser der Vesta ist nach Mädler's Messungen 66 Meilen ($^1/_7$ des Monddurchmessers). Nach La-

mont's Beobachtungen beträgt der Durchmesser der Pallas höchstens 145 Meilen. Juno hat schwerlich über 80 Meilen im Durchmesser.

Je kleiner der scheinbare Durchmesser der Gestirne wird, desto störender wirkt die Irradiation auf eine genaue Messung desselben, man kann deshalb nicht hoffen, den wahren Durchmesser der kleineren Planetoiden durch eine Messung des scheinbaren Durchmessers zu ermitteln. Eine andere später zu besprechende Methode, den wahren Durchmesser der Planetoiden zu berechnen, ergiebt sich aber aus einer photometrischen Vergleichung derselben. Nach dieser Methode ergeben sich für die grösseren Planetoiden folgende Durchmesser:

Ceres . . .	46,2	geogr. Meilen,
Vesta . . .	42,9	„ „
Pallas . . .	35,8	„ „
Juno . . .	26,7	„ „

für die kleinsten aber:

Atalanta . .	4,9	geogr. Meilen,
Maja . . .	4,9	„ „
Sappho . .	4,4	„ „
Clio . . .	3,9	„ „

Der Umfang der Clio beträgt also nur 12 Meilen, ihre Oberfläche nur 48 Quadratmeilen, ist also ungefähr halb so gross als die des ehemaligen Herzogthums Nassau.

Unter diesen kleinen Planeten hat Flora den kleinsten, und Hygiea den grössten mittleren Abstand von der Sonne; ersterer ist 2,20, letzterer 3,15, wenn man den Abstand der Erde von der Sonne gleich 1 setzt.

Die Bahnen dieser kleinen Planeten sind meistens sehr stark excentrisch; so ist z. B. die Excentricität der Iris 0,227, die der Juno 0,255, die der Pallas 0,242. Die geringste Excentricität 0,077 hat die Bahn der Ceres.

Die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik ist bei den kleinen Planeten meistens sehr beträchtlich; sie ist z. B.

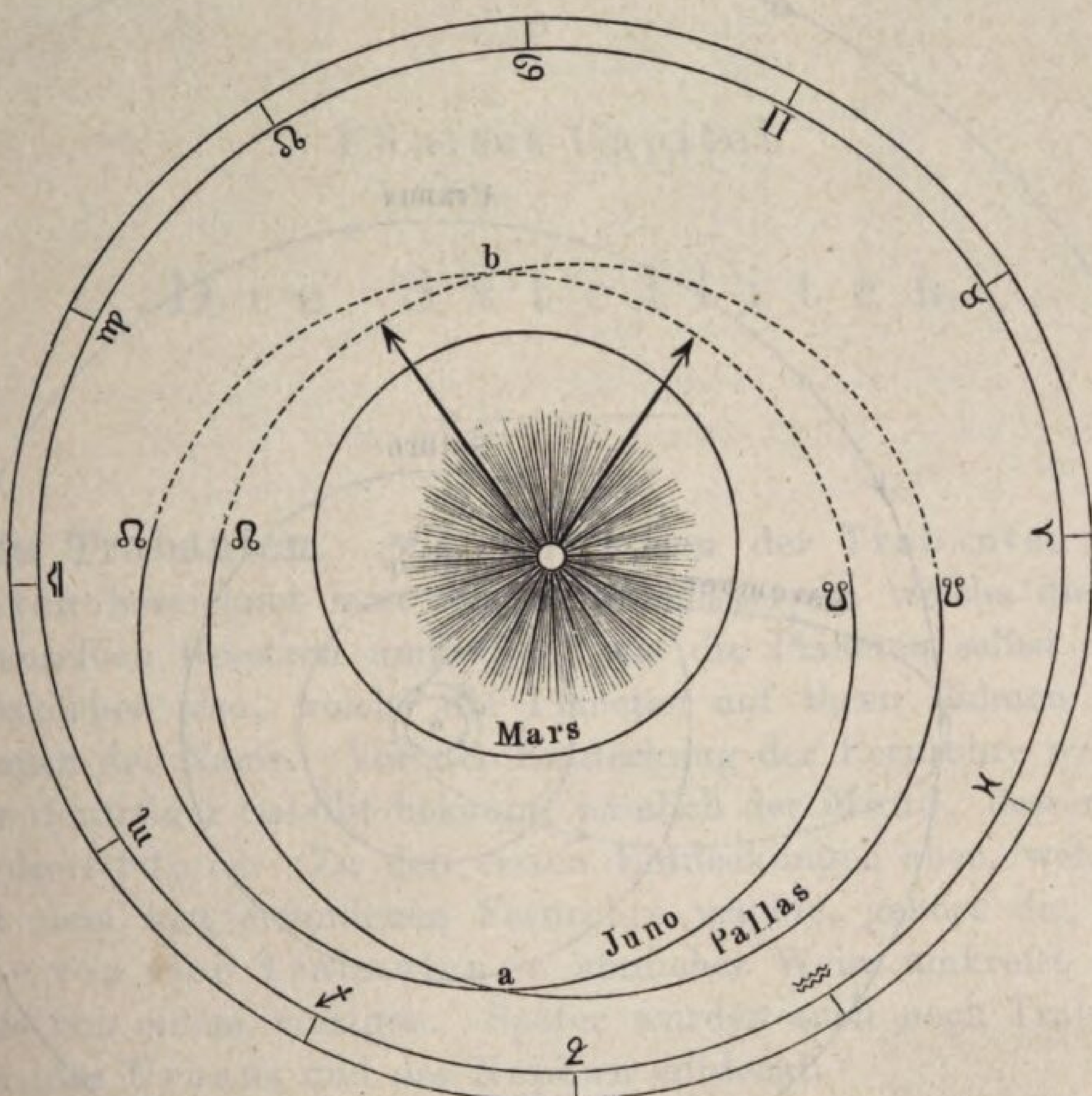
für Flora . . .	5° 53′	für Juno . . .	13° 2′
„ Ceres . . .	10 37	„ Pallas . .	34 35.

Deshalb entfernen sich auch die scheinbaren Bahnen der Planetoiden oft sehr weit von der Ekliptik; so durchlief z. B. Pallas im Jahre 1852 vom 27. Grad südlicher Declination an die Sternbilder Eridanus, Orion, kleiner Hund, Wasserschlange, Sextant und Jungfrau.

Aus den angegebenen Verhältnissen ersieht man schon, dass die Bahnen des kleinen Planeten sich nicht einander einschliessen können, wie z. B. die Bahn der Venus die des Mercur, und die Bahn der Erde wieder die der Venus einschliesst, sondern es finden mannigfache Verschlingungen dieser Bahnen Statt, wie man aus Fig. 98 sieht, welche die Bahnen der Juno und der Pallas darstellt. Bei *a* läuft die Bahn der Pallas nördlich über, bei *b* läuft sie südlich unter der Bahn der Juno her, so dass sich die beiden Bahnen förmlich durchschlingen.

Es ist die Vermuthung ausgesprochen worden, dass die Planetoiden Trümmer eines grösseren Planeten seien, eine Meinung, welche bis jetzt weder bestätigt noch widerlegt werden konnte.

Fig. 98.



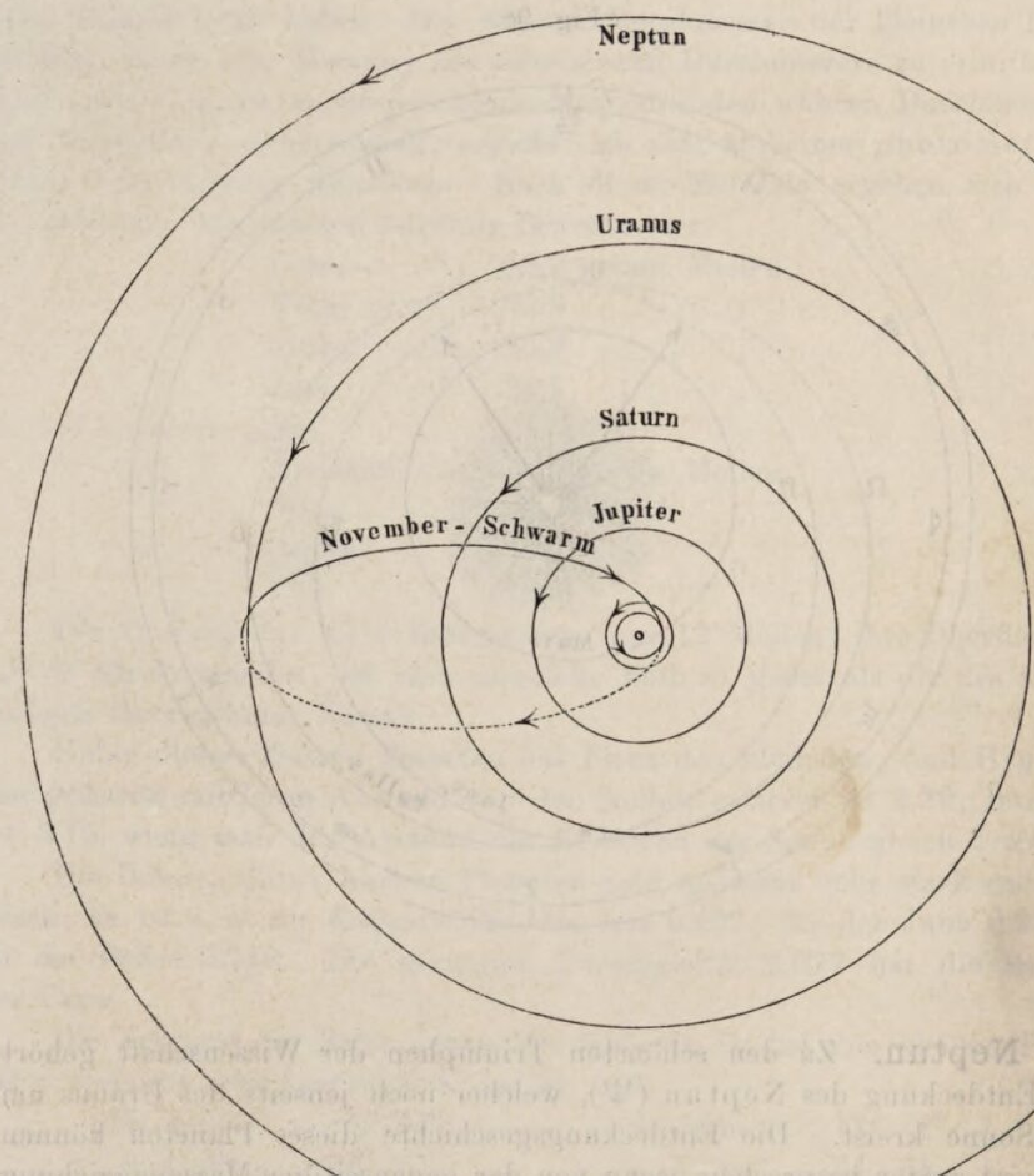
Neptun. Zu den schönsten Triumphen der Wissenschaft gehört 65
die Entdeckung des Neptun (♆), welcher noch jenseits des Uranus um die Sonne kreist. Die Entdeckungsgeschichte dieses Planeten können wir erst später besprechen, wenn von der gegenseitigen Massenanziehung der Planeten die Rede sein wird. Die halbe grosse Axe seiner Bahn ist ungefähr 36,154 und seine Umlaufszeit 217,4 Jahre. Da er erst im Jahre 1846 entdeckt worden ist, und man ihn also bis jetzt nur in einem sehr kleinen Theil seiner Bahn beobachten konnte, so kann man die übrigen Elemente seiner Bahn noch nicht mit hinlänglicher Genauigkeit angeben.

Neptun erscheint ungefähr wie ein Stern achter Grösse; in jedem Jahre rückt er am Himmel nicht ganz um 2^0 voran. Sein scheinbarer Durchmesser ist ungefähr 2,5″; demnach wäre sein wahrer Durchmesser 8400 Meilen, während sein Abstand von der Sonne 744 Millionen Meilen beträgt.

Auch ein Trabant des Neptun ist bereits aufgefunden worden.

Fig. 99 stellt die Bahnen der oberen Planeten in ihrem richtigen Grössenverhältniss dar. Der innerste kleine Kreis stellt die Erdbahn,

Fig. 99.



der darauf folgende aber die Marsbahn dar. Von der in Fig. 99 gezeichneten elliptischen Bahn, deren Perihel die Erdbahn und deren Aphel fast die Uranusbahn tangirt, wird später die Rede sein.

Fünftes Capitel.

Die Satelliten.

Die Trabanten. Mit dem Namen der Trabanten oder der Satelliten bezeichnet man solche Himmelskörper, welche die Planeten nach denselben Gesetzen umkreisen, wie die Planeten selbst die Sonne, Himmelskörper also, welche die Planeten auf ihren Bahnen begleiten, woher auch der Name. Vor der Entdeckung der Fernrohre war nur ein einziger derartiger Satellit bekannt, nämlich der Mond, dessen Centralkörper die Erde ist. Zu den ersten Entdeckungen aber, welche Galiläi mit dem neu erfundenen Fernrohre machte, gehört die, dass der Jupiter von vier Trabanten in ähnlicher Weise umkreist wird, wie die Erde von einem einzigen. Später wurden auch noch Trabanten des Saturn, des Uranus und des Neptun entdeckt. 66

Scheinbare Bahn des Mondes. Nächst der Sonne ist für uns unstreitig der Mond das wichtigste aller Gestirne. Wie die Sonne schreitet er in der Richtung von West nach Ost unter den Sternen des Thierkreises fort, aber weit rascher als die Sonne, indem er von einem Tage zum anderen fast um 13 Grade in der angegebenen Richtung vorrückt. 67

Fig. 3, Tab. 7 stellt die scheinbare Bahn des Mondes vom 1. bis zum 27. Januar 1855 dar. Man sieht zunächst daraus, dass der Mond stets rechtläufig ist und dass in seiner Bahn keine Schlingen und Schleifen vorkommen, wie wir sie bei den Planetenbahnen beobachten.

Die scheinbare Bahn des Mondes bildet (wenn man vor der Hand von kleinen Abweichungen absieht) einen grössten Kreis an der Himmelskugel, welcher die Ekliptik in zwei Punkten, den Knoten, schneidet. In unserer Figur sehen wir den aufsteigenden Knoten bei c, den niedersteigenden bei d.

Da die zweite Ungleichheit bei der scheinbaren Mondbewegung ganz fehlt, da letztere uns eben so einfach erscheint, wie die Bewegung der verschiedenen Planeten von der Sonne aus gesehen, so ist klar, dass der

Mond um die Erde kreist. Die siderische Umlaufszeit des Mondes, d. h. die Zeit, in welcher der Mond einen vollen Umlauf um die Erde vollendet, beträgt 27 Tage 7^h 43′ 11,5″.

Der Mond kommt mit der Sonne sowohl in Conjunction als auch in Opposition. Diese beiden Stellungen des Mondes zur Sonne werden mit dem gemeinschaftlichen Namen der Syzygien bezeichnet.

Die synodische Revolution oder die synodische Umlaufszeit des Mondes ist die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Conjunctionen des Mondes und der Sonne verstreicht. Sie ist grösser als die siderische Umlaufszeit; denn während der Mond, von einer Conjunction mit der Sonne ausgehend, einen vollen Umlauf von 360^0 zurücklegt, ist die Sonne auch weiter nach Osten fortgerückt, der Mond muss also über die 360^0 hinaus sich noch weiter fortbewegen, um die Sonne wieder einzuholen. Die synodische Revolution des Mondes beträgt 29 Tage 12^h 44′ 2,9″.

68 **Phasen des Mondes.** Je nach den verschiedenen Stellungen des Mondes zur Sonne bietet er uns verschiedene Anblicke dar, welche man mit dem Namen der Phasen bezeichnet. Der Mond selbst ist dunkel; alles Licht, welches er uns zusendet, ist reflectirtes Sonnenlicht; der Anblick des Mondes muss sich also ändern, je nachdem er uns mehr die dunkle oder die erleuchtete Seite zuwendet. Befindet sich der Mond mit der Sonne in Conjunction, so ist er uns vollkommen unsichtbar, wenn er nicht gerade unmittelbar vor der Sonnenscheibe steht. Es ist dies der Neumond. Alsbald entfernt sich der Mond nach Osten hin von der Sonne und erscheint uns nun als eine Sichel, Fig. 100, deren Wölbung gegen die Sonne, also gegen Westen gekehrt ist. Anfangs ist die Sichel ganz schmal; sie wird aber allmälig breiter und wenn der Mond in Quadratur ist, so erscheint er uns wie ein leuchtender Halbkreis, Fig. 101. Es ist dies das erste Viertel. Der erleuchtete Theil des Mondes wächst nun immer noch, Fig. 102, bis er uns endlich zur Zeit der Opposition als eine

Fig. 100.

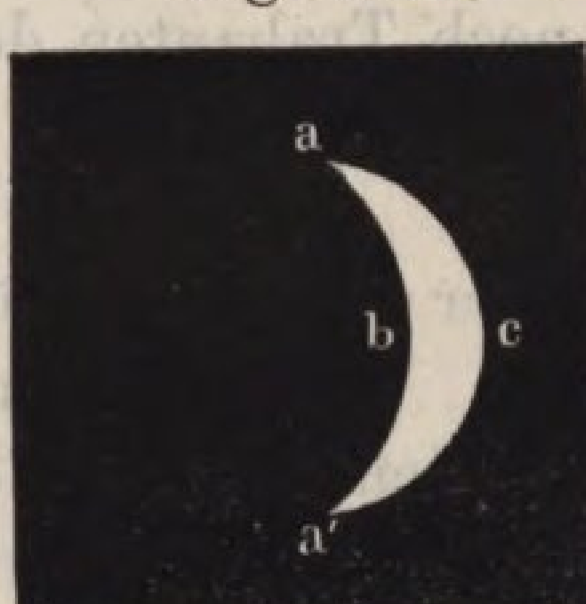


Fig. 101.

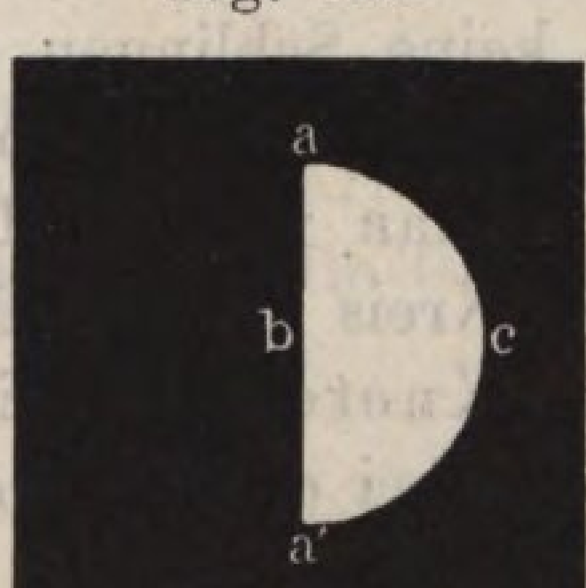


Fig. 102.

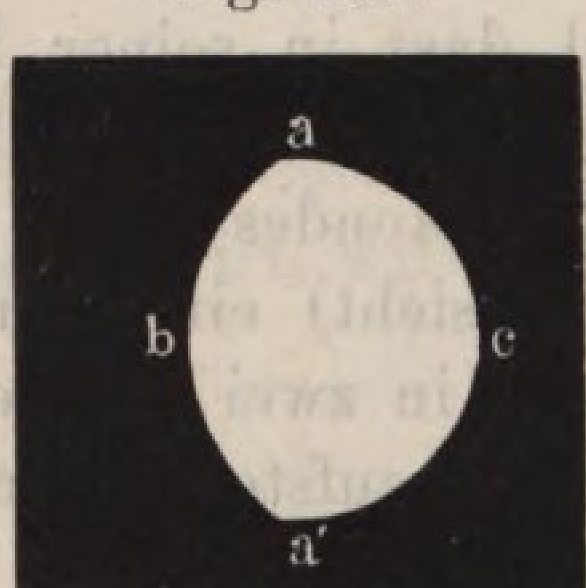


Fig. 103.



volle kreisförmige glänzende Scheibe erscheint, Fig. 103. Es ist dies der Vollmond.

Bald nach der Opposition nimmt der Mond auf der Westseite ab, Fig. 104, bis er in der zweiten Quadratur wieder nur halb erscheint, aber jetzt die gewölbte Seite nach Osten kehrend, Fig. 105. Es ist dies

Fig. 104.

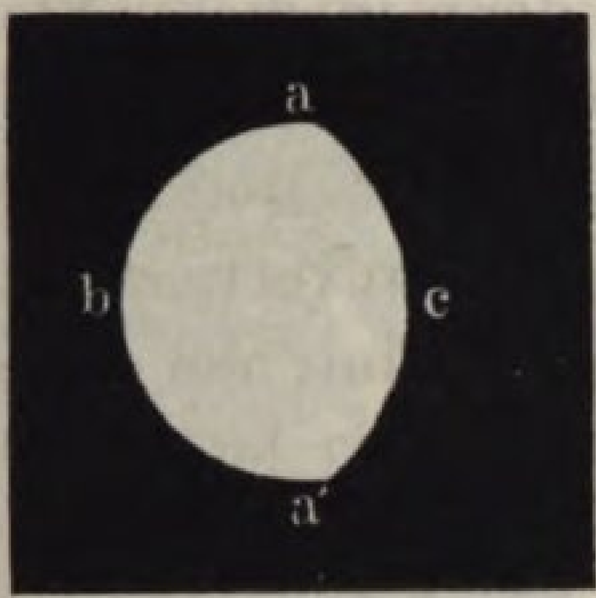


Fig. 105.

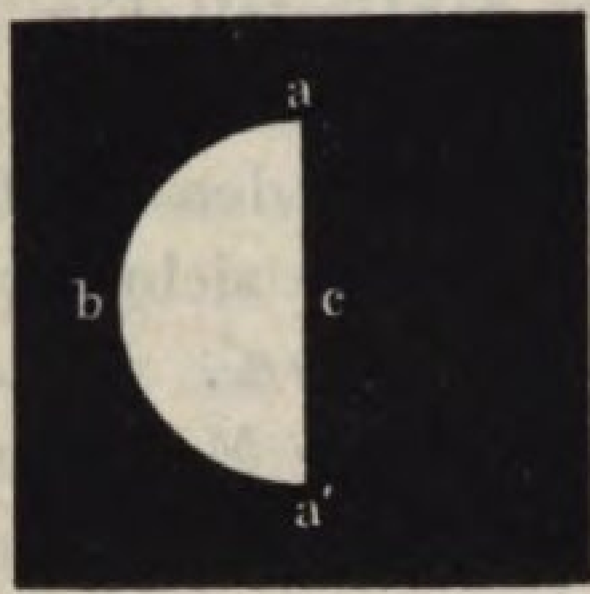
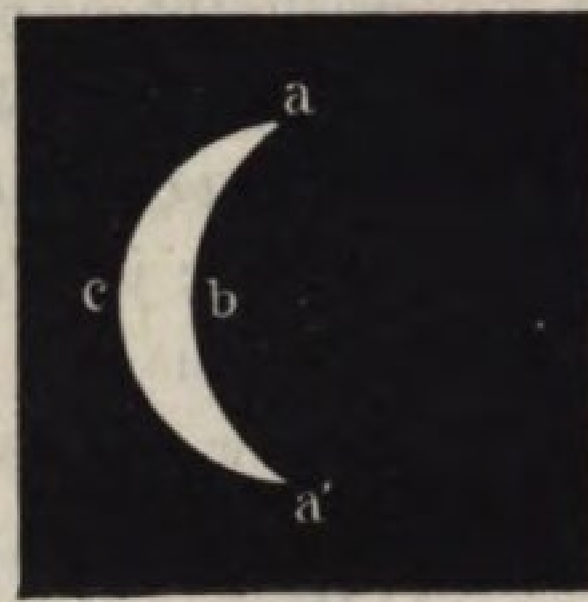


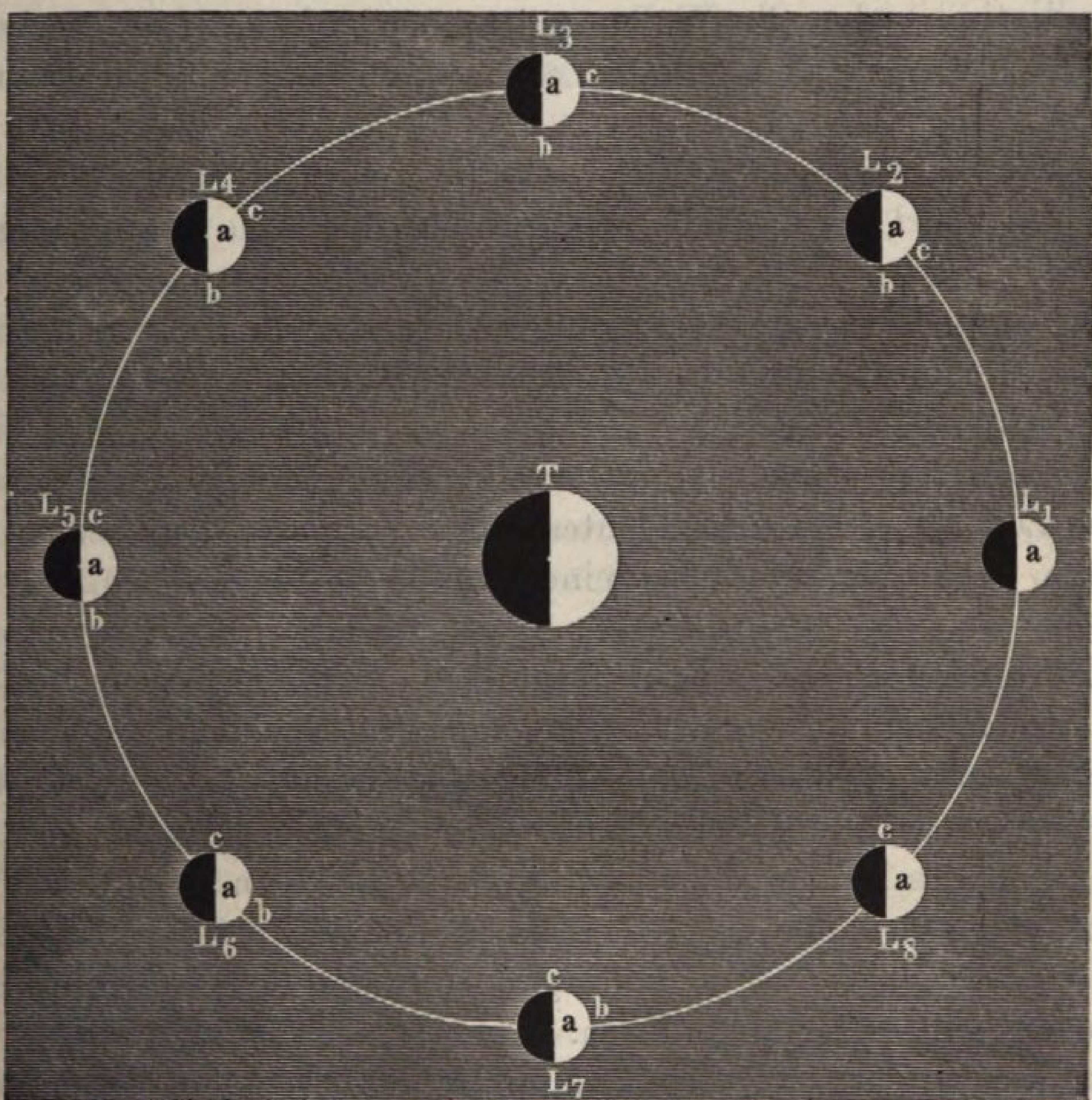
Fig. 106.



das letzte Viertel. Nun wird die Sichel, ihre Wölbung immer noch nach Osten kehrend, wieder schmäler und schmäler, Fig. 106, bis sie endlich zur Zeit des Neumondes wieder ganz verschwindet.

Der Zeitraum von einem Neumond bis zum nächsten wird mit dem Namen einer **Lunation** bezeichnet.

Fig. 107.



Es ist leicht, die Phasen des Mondes zu erklären. In Fig. 107 sei T die Erde, L_1, L_2, L_3 . . . L_8 der Mond in acht verschiedenen Stellungen, welche er während eines Umlaufes um die Erde passirt. Nehmen

wir an, die Sonne befände sich auf der rechten Seite unserer Figur und zwar in grosser Entfernung. Wenn der Mond sich in L_1, also zwischen der Erde und der Sonne befindet, so wendet er der Erde seine dunkle Seite zu, wir haben Neumond; ist aber der Mond in die Stellung L_2 gelangt, so erscheint er uns in der Gestalt Fig. 100, denn in dieser Stellung ist der uns sichtbare Theil der erleuchteten Mondhälfte begränzt durch den Halbkreis $a c a'$ (a bezeichnet den Gipfelpunkt des Mondes, a' den tiefsten, welcher in Fig. 107 nicht sichtbar ist, weil er vertical unter a liegt) und durch den Halbkreis $a b a'$. Ersterer erscheint uns als voller Halbkreis, die westliche Gränze der Mondscheibe bildend; letzterer aber, die Ostgränze bildend, zur Ellipse verkürzt, welche gleichfalls ihre Wölbung nach Westen kehrt.

Ist der Mond in die Stellung L_3 gelangt, so erscheint die westliche Gränze noch immer als ein voller Halbkreis. Der Halbkreis $a b a'$ aber, welcher auf der uns zugekehrten Mondhälfte Licht und Schatten scheidet, erscheint uns zur geraden Linie verkürzt; wir sehen also den Mond in der Gestalt Fig. 101.

Wird der Winkelabstand des Mondes von der Sonne noch grösser, kommt er in die Stellung L_4, so erscheint uns nun die Gränzlinie $a b a'$ wieder elliptisch; aber die Wölbung jetzt nach Osten kehrend, während die westliche Gränze des Mondes noch immer ein voller Halbkreis ist, Fig. 102.

Zur Zeit der Opposition ist uns die ganze erleuchtete Hälfte des Mondes zugekehrt, er erscheint uns also als eine volle kreisförmige helle Scheibe.

Nach diesen Auseinandersetzungen hat es wohl keine Schwierigkeit mehr, die Mondgestalten Fig. 105, 106, 107 aus den Stellungen bei L_6, L_7 und L_8 abzuleiten.

Wegen der so schnellen eigenen Bewegung des Mondes ändert sich auch die Zeit seines Auf- und Unterganges sehr rasch; an jedem folgenden Tage geht der Mond fast eine Stunde später auf als am vorhergehenden.

Die Stunden des Auf- und Unterganges des Mondes stehen mit seinen Phasen in engster Beziehung. Zur Zeit des Neumondes gehen Mond und Sonne zusammen auf und unter; der Mond ist also während des Tages — über, während der Nacht — unter dem Horizont, die Nächte sind zur Zeit des Neumondes nicht durch Mondschein erhellt.

Zur Zeit des Vollmondes dagegen findet der Aufgang des Mondes ungefähr zur Zeit des Sonnenunterganges Statt; der Vollmond leuchtet uns also die ganze Nacht hindurch.

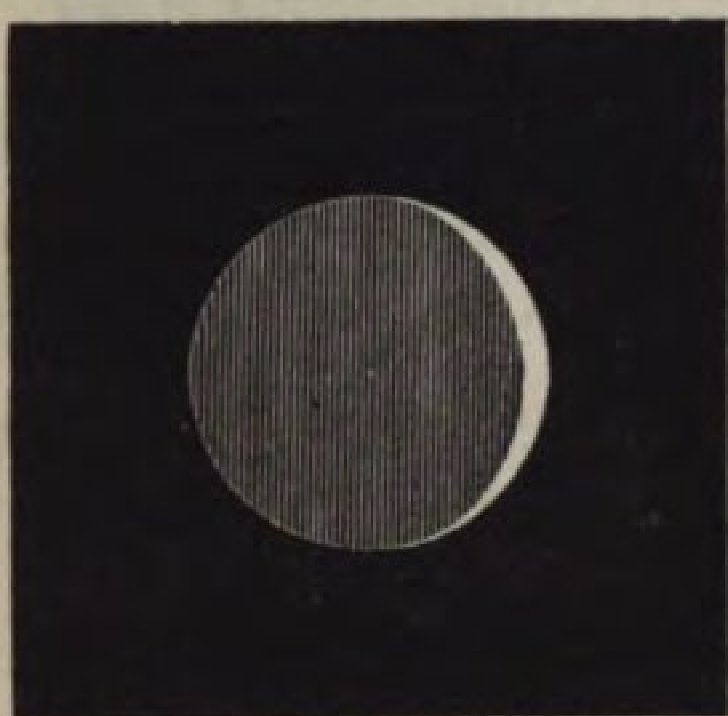
Zur Zeit des ersten Viertels culminirt der Mond ungefähr, wenn die Sonne untergeht, der Untergang des Mondes findet alsdann um Mitternacht Statt; das erste Viertel glänzt also am westlichen Himmel in der ersten Hälfte der Nacht.

Zur Zeit des letzten Viertels findet der Aufgang des Mondes um

Mitternacht Statt, das letzte Viertel erhellt also die letzte Hälfte der Nacht.

Wenn der Mond der Conjunction sehr nahe ist, wenn er uns also nur als eine ganz schmale Sichel erscheint, so ist der Rest der Mondscheibe nicht völlig dunkel, sondern man sieht ihn durch einen schwachen **aschfarbigen Schimmer** erhellt, wie Fig. 108 andeutet.

Fig. 108.



Es ist dies nicht etwa ein dem Monde eigenthümliches Licht, sondern es rührt daher, dass zur Zeit des Neumondes die ganze von der Sonne erleuchtete Erdhälfte gerade dem Monde zugekehrt ist. Die Mondnacht ist zu dieser Zeit durch den vollen **Erdschein** erleuchtet.

Gestalt der Mondsbahn. Der scheinbare Durchmesser des 69
Mondes variirt zwischen 29′ und 34′, die Entfernung des Mondes von der Erde ist also veränderlich und ebenso ist auch die Winkelgeschwindigkeit des Mondes in seiner scheinbaren Bahn nicht gleichförmig. Unter genauer Berücksichtigung aller dieser Umstände ergiebt sich, dass die Bahn des Mondes in Beziehung auf die Erde eine **Ellipse** ist; die Excentricität der Mondsbahn beträgt ungefähr $^1/_{18}$ der halben grossen Axe.

Die Ebene der Mondsbahn macht im Mittel einen Winkel von $5^0\ 9'$ mit der Ekliptik.

Die Bewegung des Mondes um die Erde, welche nach dem Gesagten ziemlich einfach erscheint, ist aber in der That sehr verwickelt, weil die Elemente der Mondsbahn sich sehr rasch ändern.

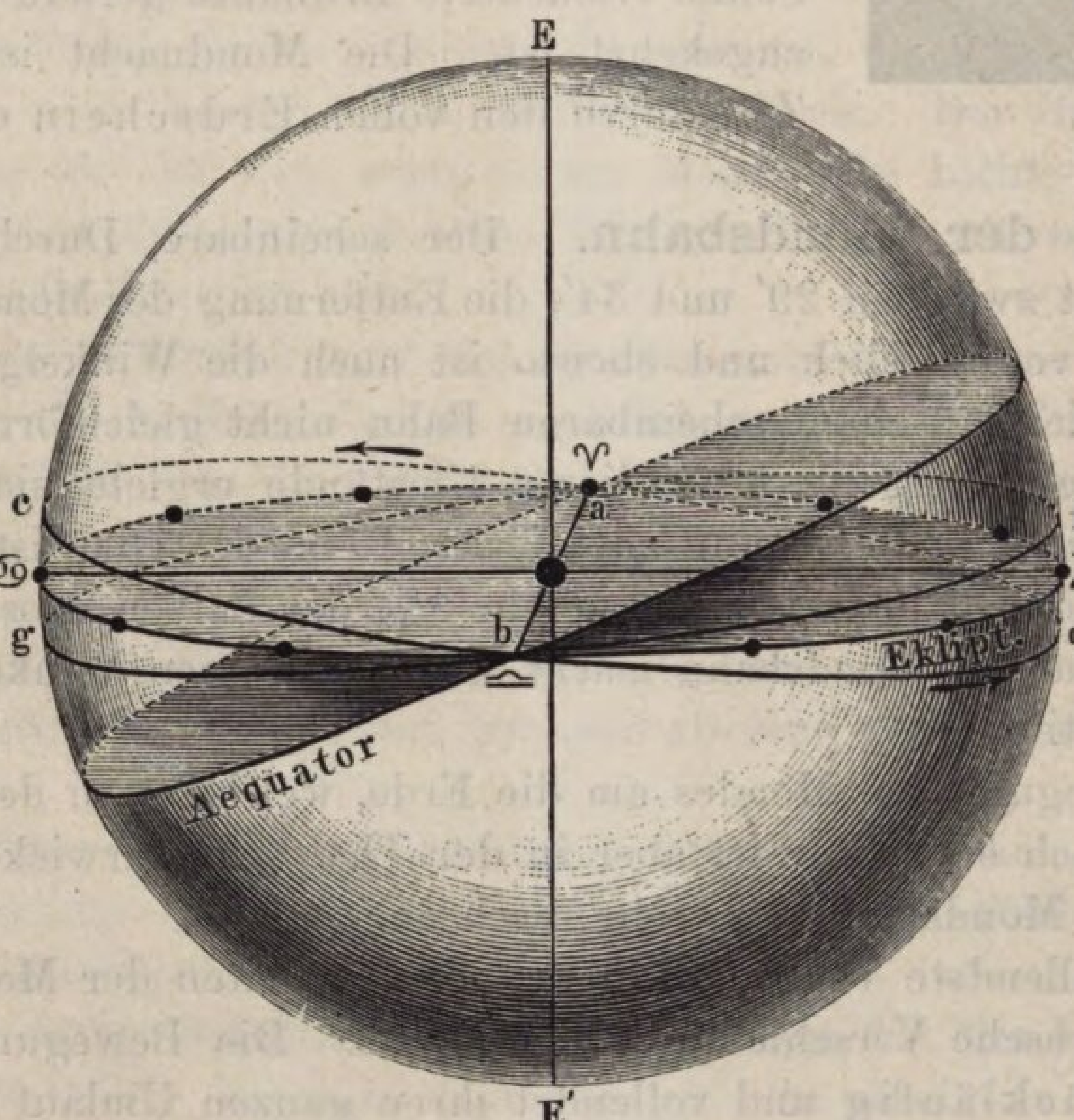
Die auffallendste Veränderung in den Elementen der Mondsbahn ist zunächst die rasche Verschiebung der Knoten. Die Bewegung der Knotenlinie ist **rückläufig** und vollendet ihren ganzen Umlauf ungefähr in 18 Jahren 219 Tagen; die Ebene der Mondsbahn dreht sich also gegen die Ordnung der Zeichen in einem Jahre etwas über 19^0. So war die Länge des aufsteigenden Knotens im Januar 1855 ungefähr 49^0 (*c*, Fig. 3, Tab. 7). Bis zum Januar 1856 rückte der aufsteigende Knoten ungefähr um 19^0 dem Frühlingspunkte näher, so dass um diese Zeit seine Länge ungefähr nur noch 30^0 betrug. Ungefähr in der Mitte des Jahres 1857 erreichte der aufsteigende Knoten der Mondsbahn den Frühlingspunkt; der niedersteigende Knoten fiel damals mit 0 ♎ zusammen.

Zu einer Zeit, in welcher der aufsteigende Knoten der Mondsbahn, wie dies im Jahre 1857 der Fall war, wie es gegen Ende 1875 wieder der Fall sein wird und wie es in Fig. 2, Tab. 8 dargestellt ist, mit 0 ♈, der absteigende aber mit 0 ♎ zusammenfällt, erreicht sowohl die nördliche als auch die südliche Declination ein Maximum; denn der Winkel, welchen die Mondsbahn mit dem Himmelsäquator macht, ist in diesem

Fall gleich dem Winkel, welchen die Mondsbahn mit der Ekliptik macht, + dem Winkel zwischen Ekliptik und Aequator, also $23^0\ 28' + 5^0\ 9' = 28^0\ 37'$. Die Mondsbahn geht alsdann von 0 ♈ (siehe die Sternkarte Tab. IV.) über die Plejaden dicht unter *β* tauri und *β* geminorum vorbei durch den Herbstpunkt und über *α* virginis und *α* scorpii zum Frühlingspunkt zurück.

Die Neigung der Mondsbahn gegen den Himmelsäquator wird ein Minimum, nämlich $23^0\,28' - 5^0\,9' = 18^0\,19'$, wenn der niedersteigende Knoten mit dem Frühlingspunkte zusammentrifft. Der Mond tritt alsdann (Fig. 1, Tab. 8) in 0 ♈ auf die Südseite der Ekliptik, und seine

Fig. 109.



scheinbare Bahn geht nun ungefähr über Aldebaran etwas nördlich von *γ* geminorum vorbei nach 0 ♎ über *γ* librae und dann zwischen *α* und *β* Capricorni hindurch.

Es war dies zuletzt $9^1/_4$ Jahr vor der eben besprochenen Periode, auf welche sich Fig. 2, Tab. 8 bezieht, also im Herbst 1866 der Fall.

Zur Erläuterung der eben besprochenen Verhältnisse dient noch Fig. 109, welche die Himmelskugel sammt dem Aequator und der Ekliptik darstellt. Diese beiden Ebenen sind der Deutlichkeit wegen schattirt. *acbd* ist die auf die Himmelskugel projicirte Mondsbahn zu einer Zeit, in welcher, der Fig. 2, Tab. 8 entsprechend, der aufsteigende Knoten der Mondsbahn mit dem Frühlingspunkte zusammenfällt; der Winkel, welchen die Ebene der Mondsbahn mit dem Aequator macht, ist alsdann $28^0\ 37'$.

Tab. 8.

Fig. 1.

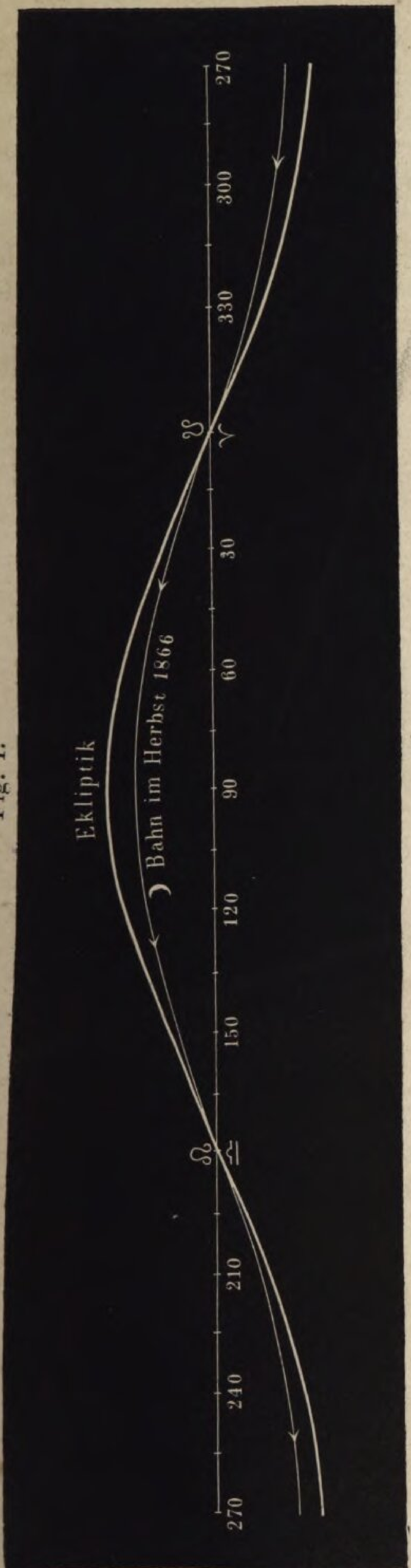
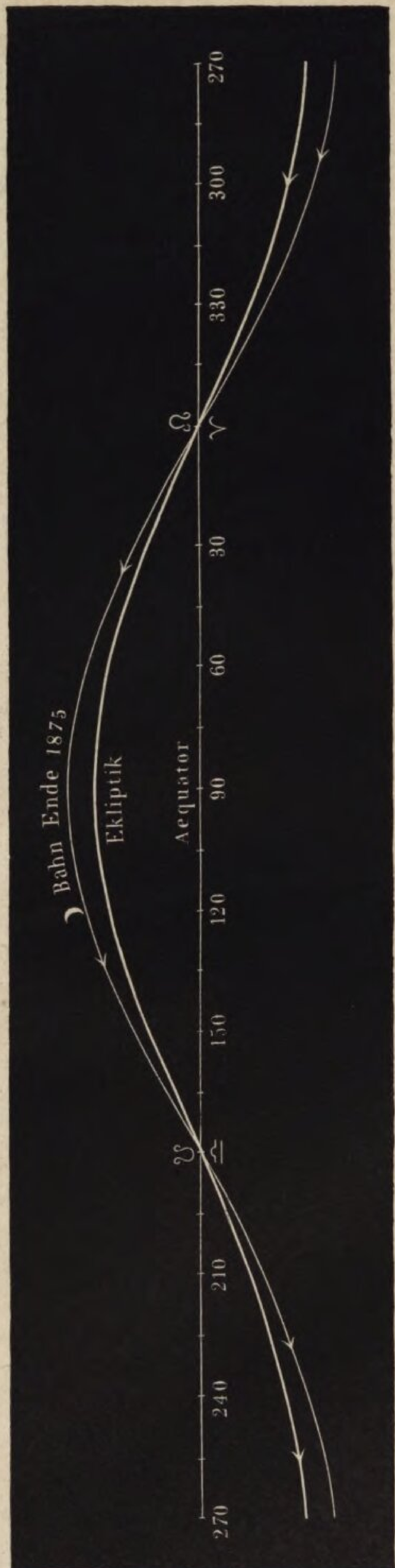


Fig. 2.



In dieser Stellung bleibt aber die Mondsbahn nicht stehen; sie bewegt sich so, als ob sie bei unveränderter Neigung gegen die Ekliptik um die Axe EE' derselben gegen die Ordnung der Zeichen gedreht würde, so dass der aufsteigende Knoten allmälig von ♈ nach ♋ und dann weiter von ♋ nach ♎ rückt. Ist der aufsteigende Knoten in 0 ♎, also in b angelangt, so hat nun die Ebene der Mondsbahn die Lage $agbf$, sie macht zu dieser Zeit nur noch einen Winkel von $18^0\ 19'$ mit dem Aequator.

Hier mag noch die Bemerkung Platz finden, dass der Mond den nördlichen Wendepunkt seiner Bahn im Sommer um die Zeit des Neumondes, im Winter zur Zeit des Vollmondes passirt. Der Vollmond bleibt also in den Wintermonaten weit länger über dem Horizont als in den Sommermonaten.

Die Absidenlinie (die grosse Axe) der Mondsbahn ändert ihre Lage gleichfalls sehr rasch. Das Perigäum schreitet rechtläufig in jedem Jahre fast um 41^0 voran, so dass es in 8 Jahren 310 Tagen 14 Stunden einen vollständigen Umlauf um den ganzen Himmel herum macht.

Ferner ist die Excentricität und die Neigung der Mondsbahn gegen die Ekliptik innerhalb gewisser Gränzen veränderlich. Diese und noch manche andere Unregelmässigkeiten des Mondlaufes, auf die wir zum Theil zurückkommen, wenn von den physikalischen Ursachen derselben die Rede sein wird, machen, dass die genaue Berechnung der Mondsörter eine äusserst verwickelte ist.

Sternbedeckungen. Wenn der Mond zwischen der Erde und 70
einem Fixsterne oder einem Planeten hindurchgeht, so sagt man, dass der Mond dieselben bedecke. Solche Sternbedeckungen kommen ziemlich häufig vor.

Fig. 110.

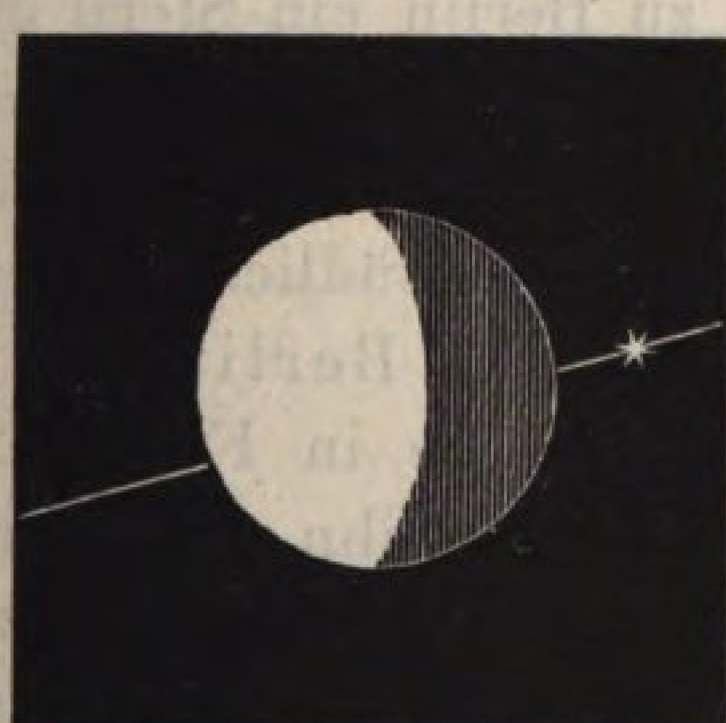
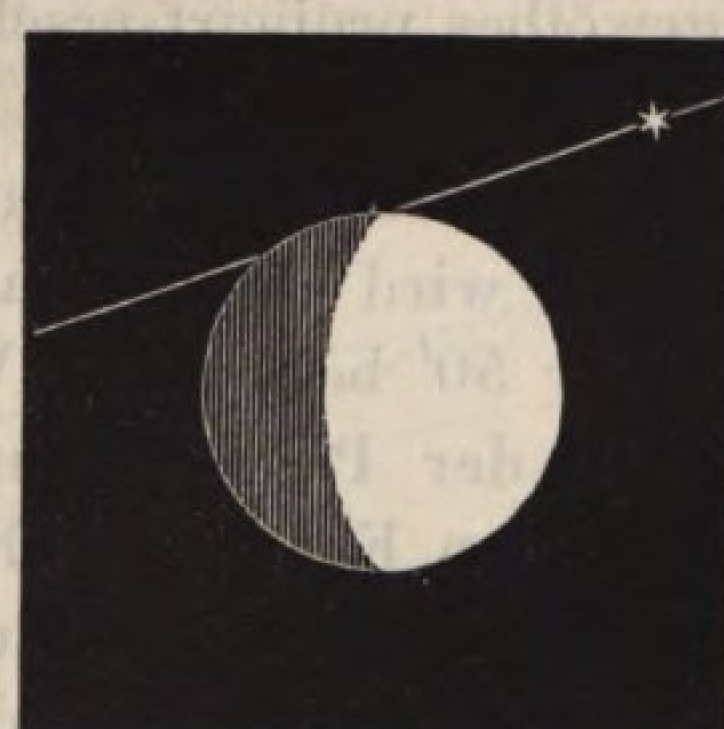


Fig. 111.



Da der Mond unter den Fixsternen in der Richtung von West nach Ost fortschreitet, so ist klar, dass die Sterne auf seiner Ostseite verschwinden und auf der Westseite wieder zum Vorschein kommen.

Fig. 110 und Fig. 111 stellen zwei Bedeckungen von α scorpii dar, wie sie zu Berlin erschienen sind. Die erste fand am 26. März 1856

Statt. Der Stern trat um 16^h 39,2′ am östlichen Rande des Mondes ein und um 17^h 58,6′ auf der Westseite wieder aus, die Bedeckung dauerte also 1 Stunde 19,4 Minuten. Bei der in Fig. 111 dargestellten Bedeckung, welche am 10. August 1856 stattfand, war die Zeit des Eintritts 5^h 38,3′, die Zeit des Austritts 6^h 9,7′ Berliner Zeit.

Das Verschwinden und das Wiedererscheinen der Sterne erfolgt plötzlich; besonders scharf lassen sich die Eintritte beobachten, wenn sie am dunklen Rande stattfinden, wie in dem Fig. 111 abgebildeten Falle.

Von den Sternen erster Grösse können vier bedeckt werden, nämlich Aldebaran, Regulus, Spica und Antares. Ein besonders interessantes Schauspiel bietet die Bedeckung der Plejaden dar.

Die Bedeckungen von α tauri finden Statt, wenn die Neigung der Mondsbahn gegen den Aequator sehr klein ist, wenn also ihr aufsteigender Knoten sich in der Nähe von 0 ♎ befindet, wie in Fig. 1, Tab. 8; dagegen werden die Plejaden bedeckt, wenn der Winkel, welchen die Ebene der Mondsbahn mit dem Aequator macht, seinem grössten Werth nahe ist, wenn also der aufsteigende Knoten in der Nähe des Frühlingspunktes liegt, Fig. 2, Tab. 8, wie dies z. B. im Jahre 1857 der Fall war.

Es ist bereits oben in §. 19 (S. 59) angeführt worden, dass die Sternbedeckungen ein ausgezeichnetes Mittel zur Längenbestimmung sind; aus diesem Grunde werden für alle Hauptsternwarten die Bedeckungen (Occultationen) der Fixsterne erster bis sechster Grösse auf mehrere Jahre vorausberechnet. In den Ephemeriden findet man den Moment des Eintritts und den Moment des Austritts der Fixsterne oder Planeten nach der Zeit der entsprechenden Sternwarte ausgedrückt.

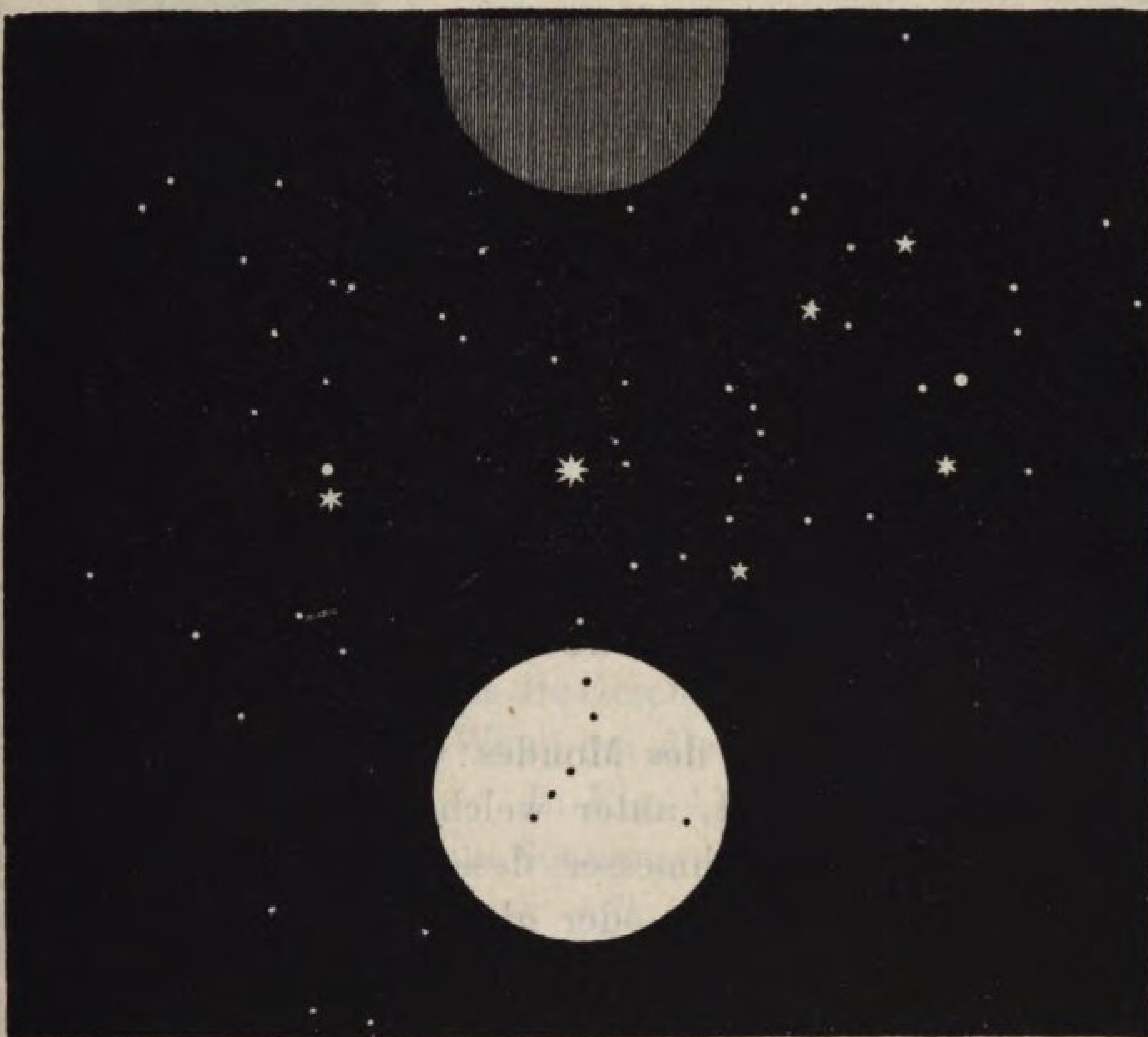
71 **Parallaxe Entfernung und Grösse des Mondes** Der Mond steht der Erde so nahe, dass er, gleichzeitig von verschiedenen Orten der Erdoberfläche aus betrachtet, an verschiedenen Stellen des Himmelsgewölbes projicirt erscheint; wenn zu Berlin ein Stern eben den nördlichen Mondrand berührt, so wird der Mond, vom Cap der guten Hoffnung aus betrachtet, noch nördlich von jenem Sterne gesehen werden, und zwar wird der Abstand des Sternes vom südlichen Mondrande noch ungefähr 50′ betragen. Wenn der Mond von Berlin aus gesehen an der Stelle der Plejadengruppe erscheint, welche in Fig. 112 durch den ganz weissen Kreis bezeichnet ist, so sieht man ihn gleichzeitig vom Cap der guten Hoffnung aus an der Stelle des schraffirten Kreises.

Es geht daraus hervor, dass die Mondparallaxe sehr bedeutend ist, und daher kommt es auch, dass sie schon sehr früh annähernd genau war bestimmt worden. Schon Hipparch bestimmte sie zu 47,5 bis 55,5 Minuten, während ihr mittlerer Werth in der That nahezu 58 Minuten beträgt.

Am einfachsten und genauesten erhält man die Mondparallaxe dadurch, dass zwei Beobachter an zwei möglichst weit von einander ent-

fernten Orten, welche nahezu auf demselben Meridian liegen, an demselben Tage die Zenithdistanz des Mondes zur Zeit der Culmination bestimmen.

Fig. 112

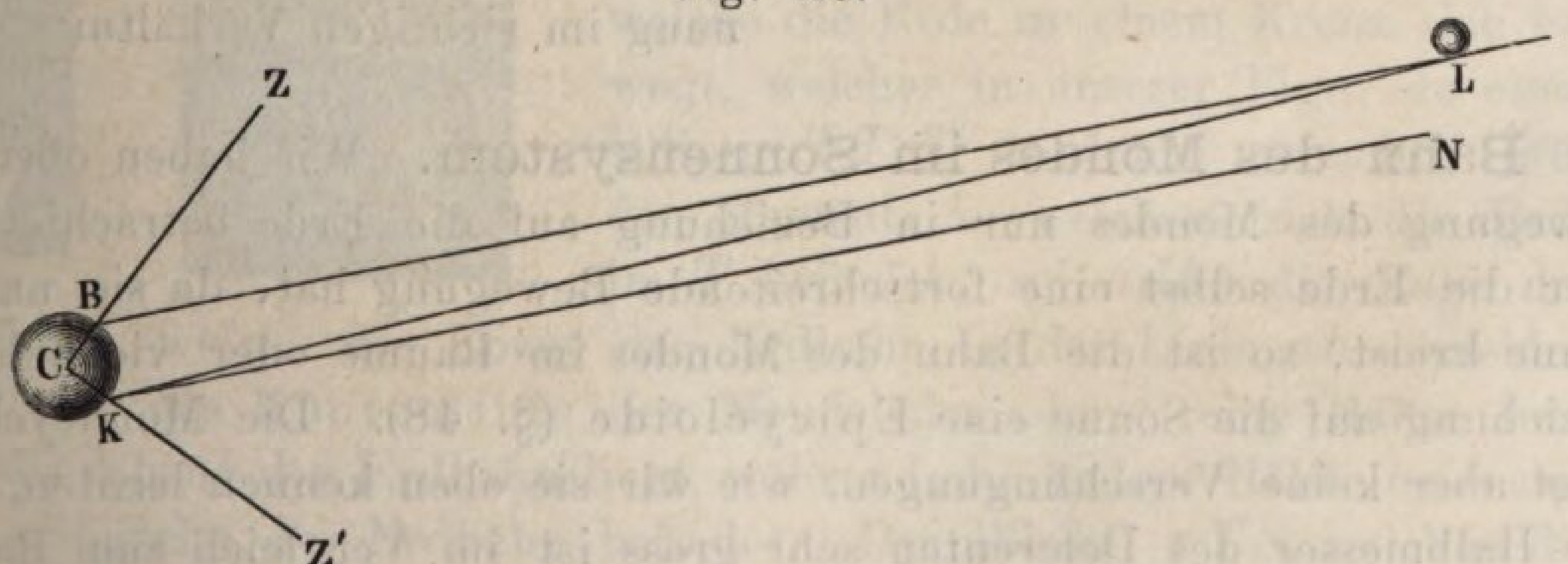


So fand z. B. den 6. December 1751 Lalande in Berlin die Zenithdistanz des südlichen Mondrandes beim Durchgang durch den Meridian gleich 41° 15′ 44″, während auf dem Cap der guten Hoffnung an demselben Tage Lacaille bei der Culmination des Mondes die Zenithdistanz des südlichen Mondrandes gleich 46° 33′ 37″ fand.

Die Polhöhe von Berlin ist 52° 31′ 13″ nördl.

Die Polhöhe des Caps ist 33° 55′ 15″ südl.

Fig. 113.



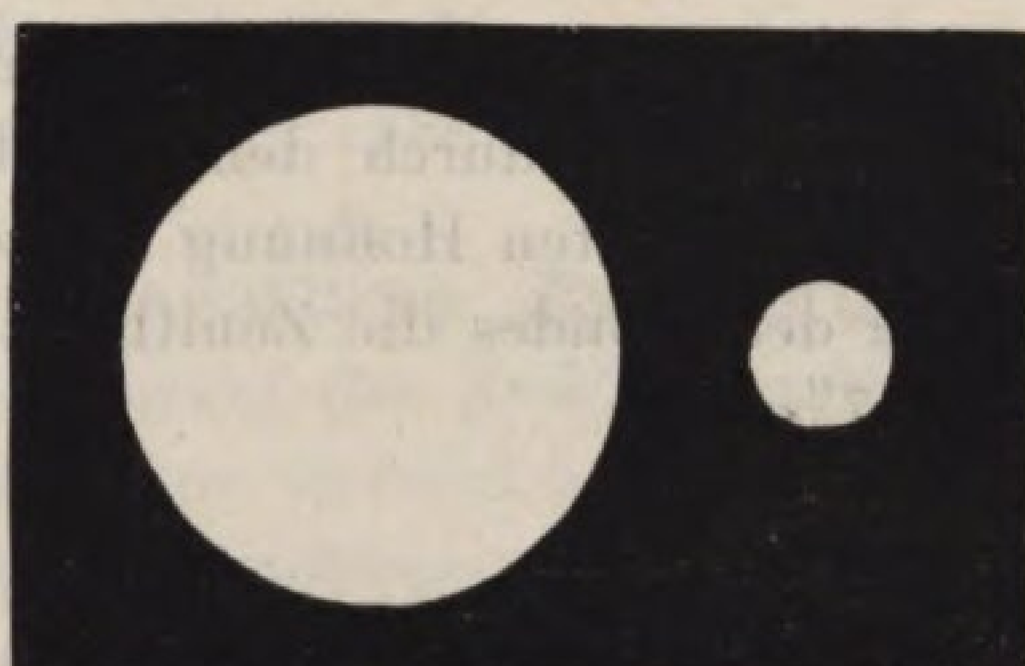
In Fig. 113 sei C der Mittelpunkt der Erde, B Berlin, K das Cap der guten Hoffnung, L der südliche Mondrand. ZBL ist die zu Berlin

und $Z'KL$ ist die auf dem Cap beobachtete Zenithdistanz des südlichen Mondrandes. — Wäre der Mond unendlich weit entfernt, so wären die nach ihm von B und K aus gerichteten Visirlinien BL und KL einander parallel und die Summe der Zenithdistanzen ZBL und $Z'KL$ müsste gleich sein dem Winkel BCK, also $86^0\,26'.28''$. Die Summe der beobachteten Zenithdistanzen ist aber $87^0\,49'\,21''$, mithin ist der Winkel NKL, also auch Winkel $BLK = 1^0\,22'\,53''$, oder mit anderen Worten, die Sehne BK erscheint, vom Mond aus gesehen, unter einem Winkel von $1^0\,22'\,53''$. Danach ergiebt sich dann die Horizontalparallaxe des Mondes, d. h. der Winkel, unter welchem, vom Mond aus gesehen, der Halbmesser der Erde erscheint, wenn man bei der Berechnung alle nöthigen Correctionen anbringt, gleich $0^0\,58'\,44{,}2''$.

Da die Entfernung des Mondes von der Erde variirt, so ist auch die Horizontalparallaxe des Mondes veränderlich; der mittlere Werth derselben ist $0^0\,57'\,19{,}9''$, und demnach ist die mittlere Entfernung des Mittelpunktes des Mondes vom Mittelpunkte der Erde gleich 59,94643 Halbmessern des Erdäquators oder 51 535 geographischen Meilen.

Da nun die Entfernung des Mondes von der Erde und der scheinbare Durchmesser bekannt ist, unter welchem er uns erscheint, so kann man auch den wahren Durchmesser desselben berechnen, welcher sich gleich 0,2742 Erddurchmessern oder gleich 472 geographischen Meilen ergiebt.

Fig. 114.



Der Durchmesser des Mondes ist also ungefähr $^3/_{11}$, die Oberfläche desselben $^3/_{40}$ und das Volumen desselben $^2/_{97}$ von den entsprechenden Grössen der Erde.

Fig. 114 dient dazu, um das Grössenverhältniss der Erde und des Mondes anschaulich zu machen.

Fig. 115 stellt die Erde, den Mond und ihre gegenseitige Entfernung im richtigen Verhältniss dar.

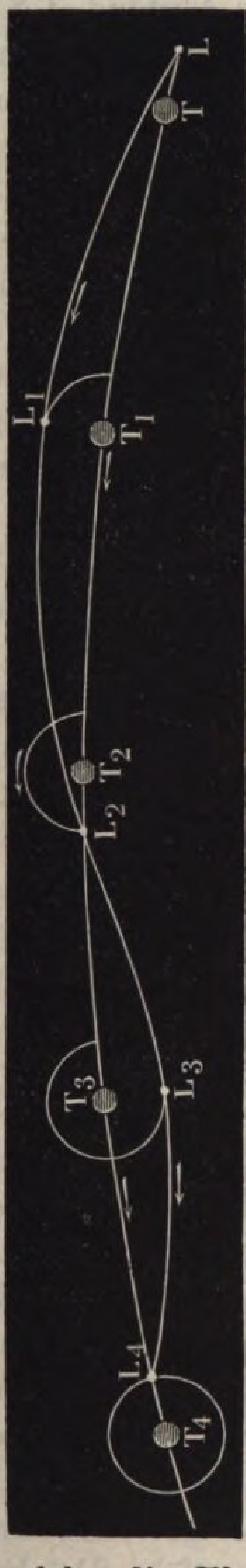
72 **Bahn des Mondes im Sonnensystem.** Wir haben oben die Bewegung des Mondes nur in Beziehung auf die Erde betrachtet; da aber die Erde selbst eine fortschreitende Bewegung hat, da sie um die Sonne kreist, so ist die Bahn des Mondes im Raume oder vielmehr in Beziehung auf die Sonne eine Epicycloide (§. 48). Die Mondcycloide zeigt aber keine Verschlingungen, wie wir sie oben kennen lernten, weil der Halbmesser des Deferenten sehr gross ist im Vergleich zum Radius des Epicykels, und weil die Geschwindigkeit des Mondes im Epicykel sehr gering ist gegen die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn. Der Charakter der Mondcycloide ist aus Fig. 116 zu ersehen, deren Con-

struction nach §. 48 wohl leicht verständlich sein wird; doch ist hier noch zu bemerken, dass diese Figur die Mondcycloide noch keineswegs im richtigen Verhältniss zeigt, vielmehr ist der Abstand des Mondes von der Erde in dieser Figur noch viel zu gross genommen im Vergleich zum Halbmesser der Erdbahn. Sollte in der Zeichnung das richtige Verhältniss eingehalten werden, so müsste der Radius des Epicykels $^1/_{400}$ vom Radius des Deferenten, es müsste TL, $T_1 L_1$ u. s. w. $^1/_{400}$ des Halbmessers sein, mit welchem der Bogen TT_4 gezogen ist; die Mondcycloide ist also in der That viel flacher als die in unserer Figur dargestellte Curve.

Fig. 115.

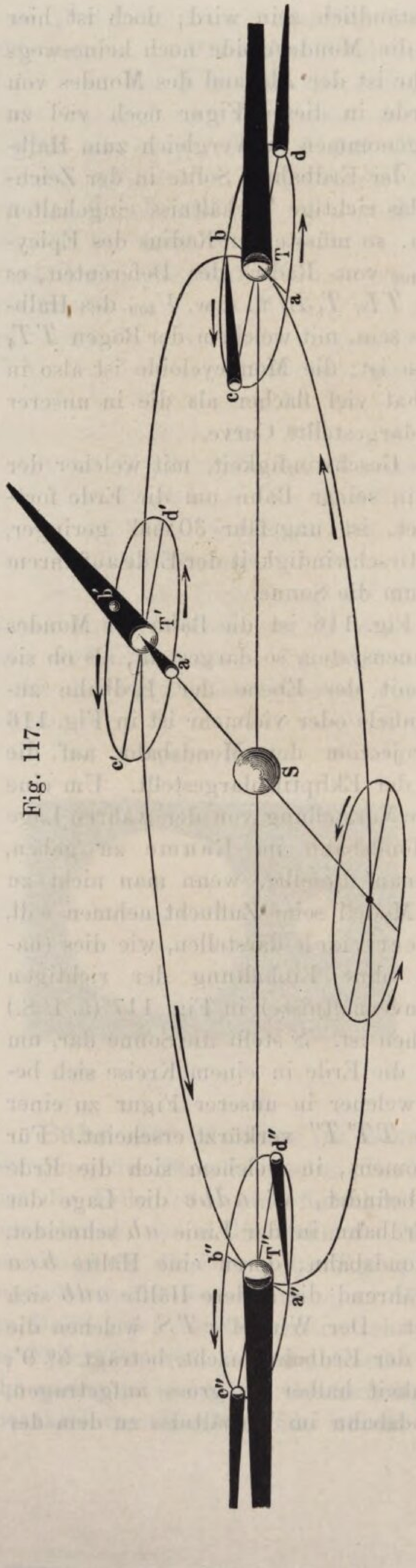


Fig. 116.



Die Geschwindigkeit, mit welcher der Mond in seiner Bahn um die Erde fortschreitet, ist ungefähr 30 mal geringer, als die Geschwindigkeit der Erde auf ihrem Wege um die Sonne.

In Fig. 116 ist die Bahn des Mondes im Sonnensystem so dargestellt, als ob sie ganz mit der Ebene der Erdbahn zusammenfiele oder vielmehr ist in Fig. 116 die Projection der Mondsbahn auf die Ebene der Ekliptik dargestellt. Um eine richtige Vorstellung von der wahren Lage der Mondsbahn im Raume zu geben, muss man dieselbe, wenn man nicht zu einem Modell seine Zuflucht nehmen will, perspectivisch darstellen, wie dies (natürlich ohne Einhaltung der richtigen Grössenverhältnisse) in Fig. 117 (a. f. S.) geschehen ist. S stellt die Sonne dar, um welche die Erde in einem Kreise sich bewegt, welcher in unserer Figur zu einer Ellipse $T T' T''$ verkürzt erscheint. Für den Moment, in welchem sich die Erde in T befindet, sei $adbc$ die Lage der Mondsbahn, welche die Ebene der Erdbahn in der Linie ab schneidet. ab ist also die Knotenlinie der Mondsbahn, deren eine Hälfte bca über die Ebene der Erdbahn liegt, während die andere Hälfte adb sich auf der Südseite der Erdbahn befindet. Der Winkel cTS, welchen die Ebene der Mondsbahn mit der Ebene der Erdbahn macht, beträgt $5^0\ 9'$; er ist in unserer Figur der Deutlichkeit halber zu gross aufgetragen, ebenso wie der Durchmesser der Mondsbahn im Verhältniss zu dem der


Fig. 117.

Erdbahn viel zu gross gezeichnet ist. Ebenso ist in unserer Figur der Durchmesser der Sonne, der Erde und des Mondes im Verhältniss zum Abstand TS der Erde von der Sonne zu gross dargestellt.

Es ist also $adbc$ der epicyklische Kreis, dessen Umfang der Mond in 27 Tagen 7^{h} und $43'$ durchläuft, während die im Mittelpunkt dieser Bahn stehende Erde im Deferenten $TT'T''$ fortrollt. Wenn die Erde nach T' gekommen ist, so hat nun (wenn man von der Bewegung der Knotenlinie abstrahirt) der epicyklische Kreis die Lage $a'd'b'c'$; er hat die Lage $a''d''b''c''$ wenn die Erde nach T'' gekommen ist.

73 **Mondfinsternisse.** Da die Erde ein dunkler undurchsichtiger Körper ist, so muss sie einen Schatten geben, welcher, da die Erde kleiner ist, als die Sonne, die Gestalt eines Kegels abd, Fig. 118, hat, dessen kreisförmige Basis durch den Umfang der Erde gebildet ist. In diesen Raum abd dringt gar kein Sonnenstrahl, es ist der Kernschatten. Dieser Kernschatten ist ringsum von einem Halbschatten umgeben, welcher diejenigen Stellen umfasst, an welchen nur ein Theil der Sonnenscheibe sichtbar ist, an welchen also weder vollkommener Ausschluss der Sonnenstrahlen, noch eine volle Erleuchtung stattfindet.

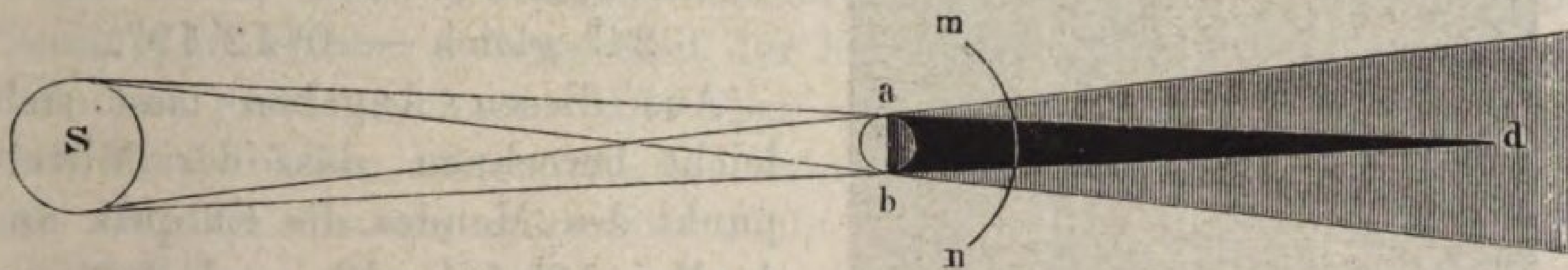
Die Länge des Kernschattens beträgt ungefähr 216 Erdhalbmesser; sie wird grösser, wenn die Erde im Aphelium, kleiner, wenn sie im Perihelium sich befindet.

Durch diesen Schatten geht nun der Mond von Zeit zu Zeit hindurch, und erscheint uns dann verfin-

stert. Solche **Mondfinsternisse** können natürlich nur stattfinden, wenn ☽ ☍ ☉, also zur Zeit des Vollmondes.

Dass aber nicht bei jedem Vollmond eine Mondfinsterniss eintritt, ist leicht einzusehen. Der Mond ist 60 Erdhalbmesser von der Erde entfernt; in dieser Entfernung aber ist der Durchmesser des Kernschattens gleich 0,72 Erddurchmessern oder gleich 2,9 Monddurchmessern. Von der Erde aus gesehen, erscheint also der Halbmesser des Kernschattens an jener Stelle unter einem Winkel von ungefähr 44 Minuten.

Fig. 118.



Der Mittelpunkt des Erdschattens befindet sich natürlich stets auf der Ekliptik, und zwar der Sonne diametral gegenüberstehend. Wenn sich also der Mondrand zur Zeit des Vollmondes der Ekliptik wenigstens bis auf 44 Minuten genähert hat, so tritt er in den Erdschatten ein; wenn aber, wie dies meistens und auch in Fig. 3, Tab. 7 dargestellten Stück der Mondsbahn der Fall ist, zur Zeit der Opposition (also des Vollmondes) der Mond weiter von der Ekliptik entfernt ist, so geht er entweder über oder unter dem Erdschatten vorüber, und es findet alsdann keine Mondfinsterniss Statt.

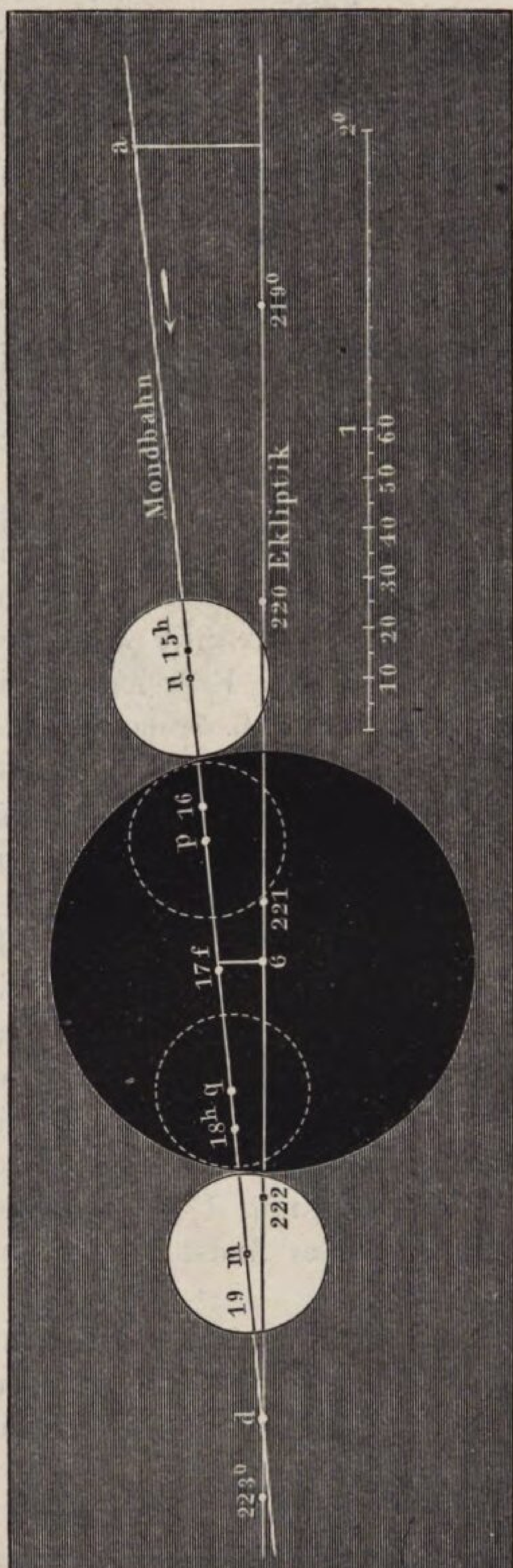
Eine Mondfinsterniss kann also nur dann stattfinden, wenn sich der Mond zur Zeit seiner Opposition mit der Sonne in der Nähe des aufsteigenden oder niedersteigenden Knotens seiner Bahn befindet, wenn also zur Zeit des Vollmondes die Knotenlinie der Mondsbahn nahezu mit der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde zusammenfällt, wie dies bei T' Fig. 117 der Fall ist. Passirt der Mond den **aufsteigenden** Knoten b', während gleichzeitig die Knotenlinie $a' b'$ mit $T' S$ zusammenfällt, so geht der Mond durch den Erdschatten, es findet eine Mondfinsterniss Statt.

Ebenso wird eine Mondfinsterniss stattfinden, wenn der Mond zur Zeit der Opposition den **niedersteigenden** Knoten passirt, während die Knotenlinie der Mondsbahn in einer geraden Linie mit der Verbindungslinie zwischen Erde und Sonne liegt.

Es findet dagegen keine Mondfinsterniss Statt, wenn zur Zeit, in welcher der Mond mit der Sonne in Opposition kommt, die Knotenlinie seiner Bahn bedeutend von der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde abweicht. Der Vollmond geht namentlich, wie bei d und c'', unter oder über dem Erdschatten her, wenn die Knotenlinie $a b$ bei T oder $a'' b''$ bei T''' rechtwinklig auf der Verbindungslinie zwischen Erde und Sonne steht.

Das Wesen der Mondfinsternisse wird wohl am besten durch die Betrachtung einzelner Fälle erläutert.

Fig. 119.



Zur Construction des Verlaufs der Mondfinsterniss, welche sich am 1. Mai 1855 ereignete, findet man im Berliner astronomischen Jahrbuche folgende Data:

die Breite ☾ am 1. Mai 1855 12^h gleich $+ 0^0 24' 21''$,

die Breite ☾ am 1. Mai 1855 24^h gleich $- 0^0 12' 19''$.

Aus diesen Angaben lässt sich leicht berechnen, dass der Mittelpunkt des Mondes die Ekliptik am 1. Mai 19^h $58'$ oder nach bürgerlicher Zeit am 2. Mai Morgens 7^h $58'$ passirte.

Es war die Länge ☾ am 1. Mai 1855 $12^h = 218^0\ 27'\ 7''$, ferner war die Länge ☾ am 1. Mai 1855 $24^h = 225^0\ 4'\ 20''$. Daraus berechnet man dann, dass die Länge des Mondmittelpunktes um 19^h $58'$ gleich 222^0 $42'$ war; es ist dies die Länge des niedersteigenden Mondknotens.

Die horizontale Linie in Fig. 119 stellt ein Stück der Ekliptik, und zwar ungefähr vom 218. bis 223. Längengrade dar. Jeder Grad ist einen Pariser Zoll lang aufgetragen, eine Länge von einer Pariser Linie stellt also 5 Bogenminuten dar; d ist der Knotenpunkt, dessen Lage oben ermittelt wurde, und a ist der Punkt, an welchem nach obigen Angaben der Mittelpunkt des Mondes am 1. Mai um 12^h stand; da ist also ein Stück der Mondsbahn.

Der Moment des Vollmondes, d. h. der Augenblick, in welchem die Länge des Mondes gerade um 180^0 von der Länge der Sonne differirte, war dem astronomischen Jahrbuche zufolge um $16^h 56,7'$. Man findet leicht, dass in diesem Moment der Mittelpunkt des Mondes in einem Punkte f stand, dessen Länge $221^0\,11'$ war.

Dies ist aber auch die Länge des Punktes *c*, welchen in demselben Moment der Mittelpunkt des Erdschattens einnahm. In unserer Figur ist dieser Erdschatten als ein vollkommen schwarzer Kreis dargestellt, dessen Radius beinahe 9 Pariser Linien ist, da ja der Halbmesser des Erdschattens an der fraglichen Stelle 44′ beträgt und eine Winkelgrösse von 5′ in unserer Figur als eine Pariser Linie aufgetragen ist.

Es ist hier für den Halbmesser des Erdschattens an der fraglichen Stelle der Mittelwerth von 44′ genommen worden. Wenn die Construction ganz genaue Resultate geben sollte, so dürfte man sich mit diesem Mittelwerthe nicht begnügen, sondern man müsste ihn aus der Entfernung, in welcher sich zur Zeit der Finsterniss Sonne und Mond gerade befinden, erst berechnen. Die Elemente zu einer solchen Berechnung finden sich in den astronomischen Jahrbüchern.

Der Erdschatten steht aber nicht still, er schreitet in einer Stunde um 2′ 25″ von West nach Ost, also in unserer Figur von der Rechten zur Linken fort. In einer Stunde bewegt sich aber der Mond in gleicher Richtung um 33′ 4″ vorwärts; wir können also, da es sich nur um die relative Bewegung des Mondes und des Erdschattens handelt, annehmen, dass der Erdschatten stillstände und dass der Mond in einer Stunde nur um 30′ 39″ nach Osten hin fortschritte.

In *f* stand der Mittelpunkt des Mondes um 16^h 57′, um 17 Uhr stand er also noch um 1,5 Bogenminuten östlicher, also in dem mit 17 bezeichneten Punkte. Misst man nun auf der Mondsbahn von dem Punkte 17 aus die Länge von 30,65′ nach beiden Seiten hin ab, so findet man die mit 15, 16, 18 und 19 bezeichneten Punkte, in welchen sich der Mondmittelpunkt um 15, 16, 18 und 19 Uhr befand, wenn wir nur seine relative Bewegung zum Erdschatten betrachten.

Der scheinbare Halbmesser des Mondes zur Zeit dieser Finsterniss war 15,5′, und mit diesem Halbmesser sind die Kreise um die Punkte *n*, *p*, *q* und *m* gezogen.

Die Punkte *m* und *n* stehen von *c* um die Summe der Halbmesser des Erdschattens und des Mondes ab, folglich wird ein mit dem Radius 15,5′ um *n* oder *m* gezogener Kreis den Erdschatten gerade berühren. Als der Mittelpunkt des Mondes in *n* stand, begann also der Mond eben in den Kernschatten der Erde einzutreten. Wie man aus der Figur 119 leicht ersehen kann, erfolgte dieser Eintritt ungefähr um 15^h 8′, da der Abstand von *n* bis zu dem mit 15^h bezeichneten Punkte einem Zeitintervall von 8 Minuten entspricht.

Der Mond trat eben aus dem Erdschatten vollständig aus, die Finsterniss war zu Ende, als der Mittelpunkt des Mondes in *m* anlangte, was um 18^h 49′ der Fall war.

Die Punkte *p* und *q* sind von *c* um die Differenz des Halbmessers des Erdschattens und des Mondes entfernt; wenn also der Mittelpunkt des Mondes in *p* oder in *q* steht, so wird der Mondrand die Gränze des Kernschattens gerade von innen berühren. In dem Augenblicke also, in

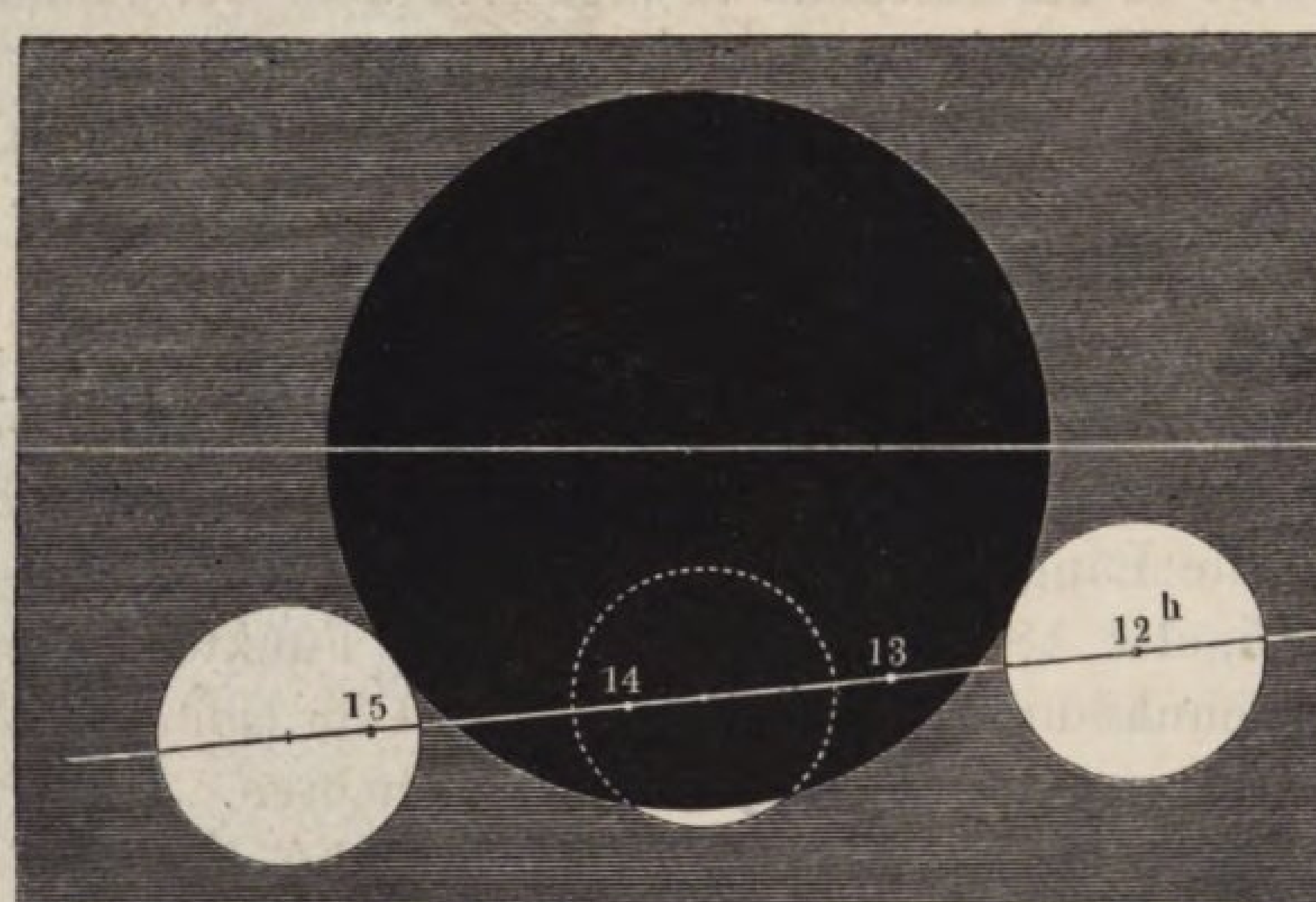
welchem der Mittelpunkt des Mondes in p anlangte, war der Mond vollständig in den Erdschatten eingetreten; es war dies der Anfang der totalen Finsterniss, welcher um $16^h\ 10'$ stattfand, da 10 Minuten nöthig waren, damit der Mond von dem mit 16 bezeichneten Punkte nach p gelangte.

Die totale Finsterniss erreichte ihr Ende, als der Mittelpunkt des Mondes in q anlangte, um $17^h\ 47'$.

Da der Mond an jenem Tage für Berlin bereits um $16^h\ 32'$ unterging, so konnte man daselbst, sowie in ganz Europa, nur den Anfang, nicht das Ende jener Finsterniss sehen.

Wenn der Mond in dem Moment der Opposition noch weiter von seinem auf- oder niedersteigenden Knoten entfernt ist, als in dem eben betrachteten Falle, so kann die Mondscheibe nicht mehr vollständig in den Erdschatten eintreten, die Finsterniss ist dann nur eine partiale.

Fig. 120.



Die Figuren 120 und 121 stellen den Verlauf der partialen Mondfinsternisse vom 13. November 1845 und vom 31. März 1847 dar.

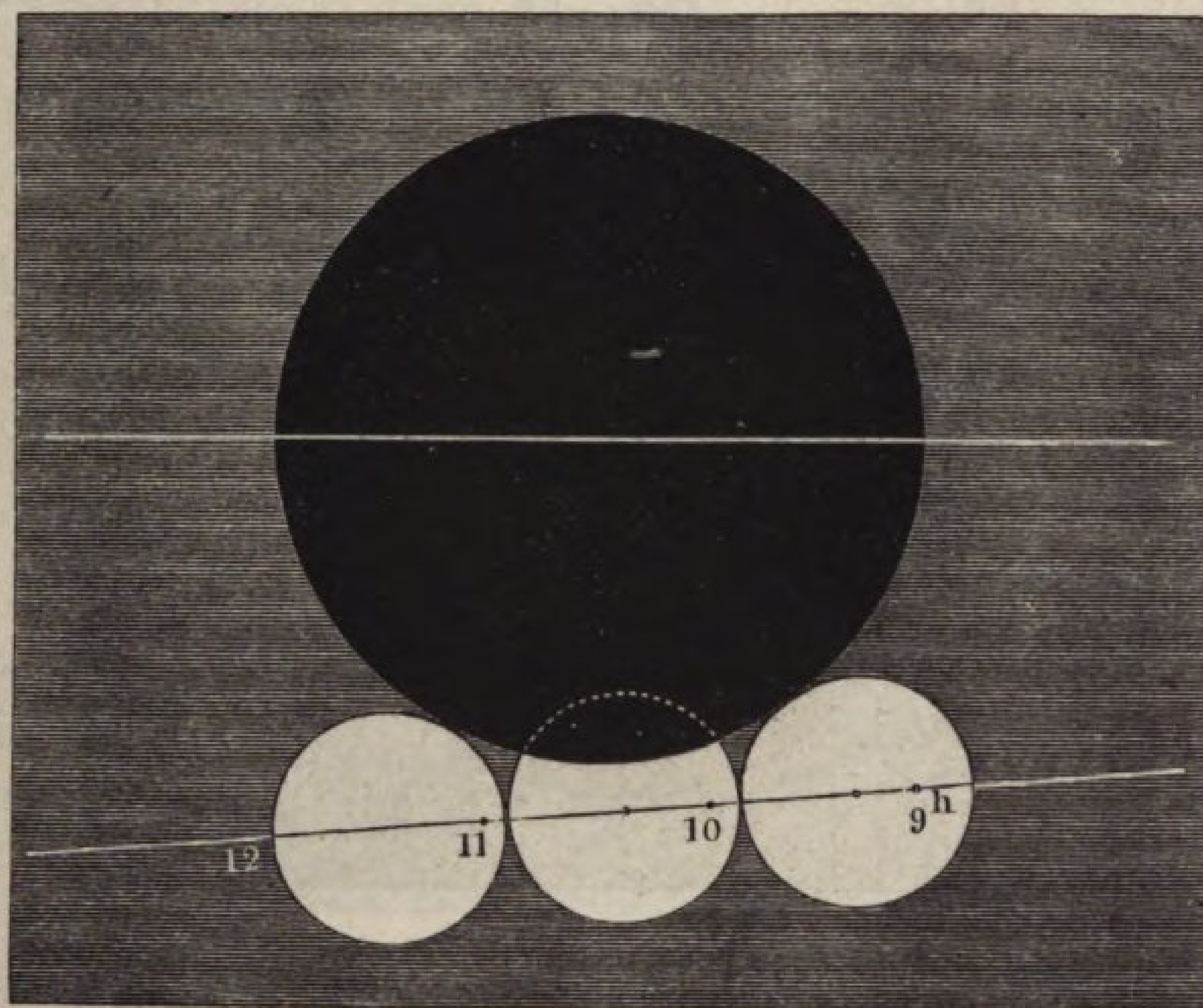
Um die Grösse einer Mondfinsterniss zu bestimmen, d. h. um anzugeben, der wievielste Theil der Mondscheibe verfinstert ist, denkt man sich den Durchmesser des Mondes, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Erdschattens geht, in 12 gleiche Theile getheilt, welche man Zolle nennt, und giebt dann an, wie viele dieser Zolle verfinstert sind. So betrug das Maximum der Verfinsterung am 13. November 1845 zwischen 10 und 11 Zoll, am 31. März 1847 nur etwas über 3 Zoll.

Die Gränze des Erdschattens erscheint auf dem Monde stets als Kreisbogen; er ist aber nie vollkommen scharf begränzt, weil eben der Uebergang aus dem Kernschatten in den Halbschatten ein allmäliger ist.

Anfangs, wenn eben der Mond in den Erdschatten einzutreten beginnt, erscheint der verfinsterte Theil des Mondes von grauer Farbe und alle Flecken verschwinden. Wenn sich aber der Mond mehr und mehr

in den Erdschatten einsenkt, geht dieses Grau in Roth über und dabei werden die Flecken wieder sichtbar, so dass, wenn die totale Finsterniss eingetreten ist, nun die ganze Mondscheibe eine eigenthümlich dunkelrothe Färbung zeigt, in welcher sich Einzelheiten auf der Mondoberfläche

Fig. 121.



wieder unterscheiden lassen. In sehr ausgezeichneter Weise war diese rothe Färbung der verfinsterten Mondscheibe auch bei der nicht ganz totalen Mondfinsterniss vom 13. October 1856 wahrnehmbar. Fig. 1 auf Tab. XI a. ist eine möglichst treue Darstellung jener interessanten Erscheinung.

Das rothe Licht des Mondes während einer totalen oder nahe totalen Verfinsterung rührt offenbar von dem zerstreuten Lichte her, welches die erleuchtete Erdatmosphäre noch in den Erdschatten hineinsendet.

Die nächsten Mondfinsternisse. Im Jahre 1871 werden 74
zwei Mondfinsternisse stattfinden, von denen jedoch nur die partielle Mondfinsterniss vom 6. Januar in Deutschland sichtbar sein wird, und zwar ist für Berlin

der Anfang der Finsterniss	$8^h\ 40'$
die Mitte „ „	$10^h\ 10'$
das Ende „ „	$11^h\ 40'$

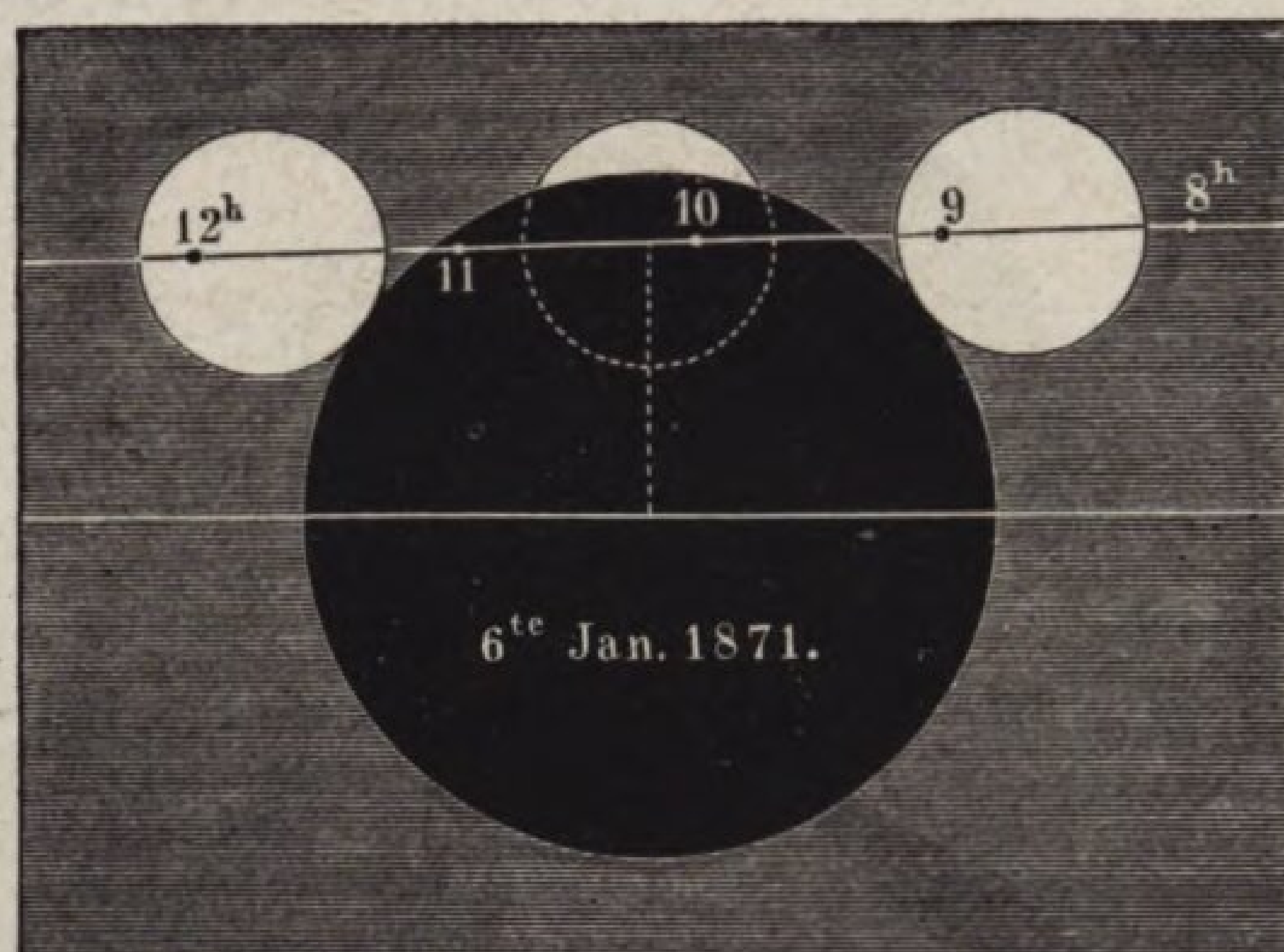
Die Grösse der Finsterniss beträgt 8,3 Zoll. Die wichtigsten Elemente dieser Finsterniss sind nach dem Berliner astronomischen Jahrbuch:

☾ ☍ ☉ Jan. 6	$10^h\ 8^m\ 31^s$
☾ Decl.	$23^0\ 2{,}5'$ nördlich
☉ decl.	$22^0\ 28{,}5'$ südlich
☾ stündl. Bew. in AR . . .	$33{,}75'$

☉ stündl. Bew. in AR . . .		2,75′
☾ stündl. Bew. in decl.		53″
☉ stündl. Bew. in decl.		+ 18″

Nach diesen Daten ist der Verlauf dieser Finsterniss in Fig. 122 construirt und zwar ist für je 5 Bogenminuten eine Länge von 2 Millim. aufgetragen.

Fig. 122.



Im Jahre 1872 finden ebenfalls zwei Mondfinsternisse statt, welche beide bei uns sichtbar sein werden, beide aber sind unbedeutend, d. h. der Mond wird kaum in den Erdschatten eintauchen. Die erste findet Statt am 22. Mai. Sie beginnt um 11^h 34′ Berliner Zeit und endet um 12^h 49′. Nur 0,116 des Monddurchmessers wird in den Erdschatten eintauchen (die Verfinsterung beträgt also nicht ganz $1^1/_2$ Zoll) und zwar geht der Mittelpunkt des Mondes nördlich von dem Erdschatten vorüber.

Die zweite Mondfinsterniss des Jahres 1872 findet am 14. November Statt, sie beginnt um 17^h 55′ Berliner Zeit und endet schon um 18^h 30′ (Anfang 15. November Morgens 5^h 55′, Ende 6^h 30′ Morgens). Beim Maximum der Verfinsterung ist nur 0,023 des Monddurchmessers in das Südende des Erdschattens eingetaucht.

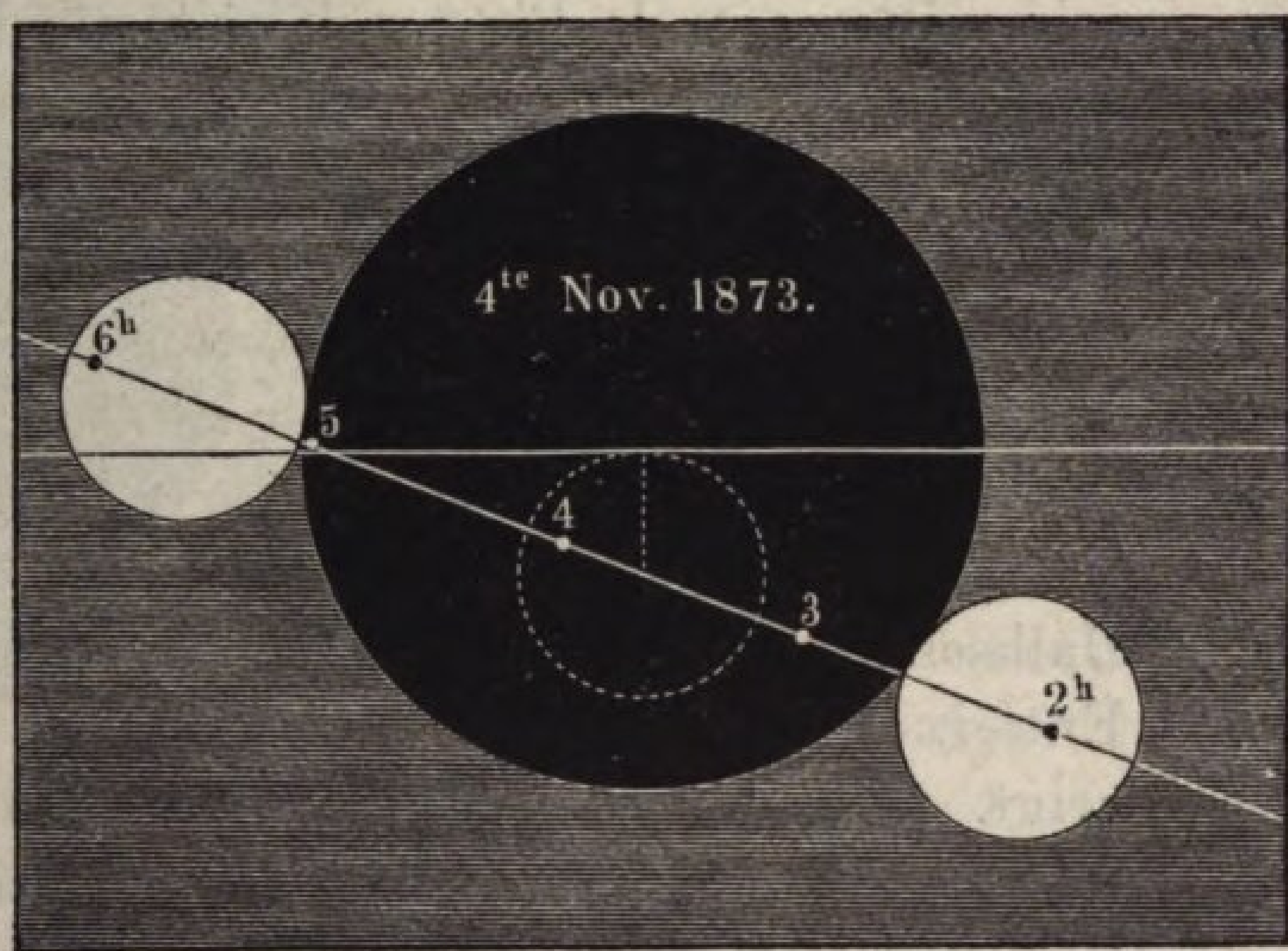
Die erste totale Mondfinsterniss des Jahres 1873 (12. Mai) ist bei uns nicht sichtbar (die Mitte der Finsterniss findet ungefähr zur Zeit unseres Mittags Statt. Die zweite gleichfalls totale Mondfinsterniss des Jahres 1873 beginnt am 4. November um 3 Uhr Nachmittags und endet um 6 Uhr 49′ Abends. Der Mond geht für Deutschland verfinstert auf.

Die Elemente dieser Finsterniss sind nach dem Nautical Almanac:

☾ ☍ ☉ am 4. Nov.		3^h 39^m 41^s	Greenw. Zeit
☾ decl.	N	15⁰ 17,1′	
☉ decl.	S	15⁰ 32,8′	
☾ stündl. Bew. in AR		34,7′	
☉ „ „ „ „		2,5′	
☾ „ „ „ decl.	N	14,27′	
☉ „ „ „ „	S	0,75′.	

Nach diesen Daten ist die Figur 123 und zwar in gleichem Maassstab gezeichnet, wie Fig. 122. Die in der Figur angebrachten Zahlen beziehen sich auf Greenwicher Zeit. Die Greenwicher Zeit differirt von der Berliner um 53,5′, d. h. man hat 53,5 Minuten zur Greenwicher Zeit zu addiren, um die entsprechende Berliner Zeit zu erhalten.

Fig. 123.



Sonnenfinsternisse sind Erscheinungen, welche einerseits den **75**
Sternbedeckungen durch den Mond, andererseits den Durchgang der unteren Planeten vor der Sonnenscheibe analog sind; sie treten ein, wenn die Erde durch den Schatten des Mondes hindurchgeht, können also nur zur Zeit des Neumondes stattfinden.

So wenig jeder Vollmond eine Mondfinsterniss bringt, so wenig ereignet sich auch bei jedem Neumond eine Sonnenfinsterniss, weil sich der Mond so weit von der Ekliptik entfernt, dass sein Schatten meist über oder unter der Erde vorbeistreicht, ohne sie zu treffen. Eine Sonnenfinsterniss kann nur dann stattfinden, wenn der Mond zur Zeit seiner Conjunction mit der Sonne ganz in der Nähe der Ekliptik steht, oder mit anderen Worten, wenn der Neumond zu einer Zeit stattfindet, in welcher die Knotenlinie der Mondbahn nahezu mit der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde zusammenfällt, wie bei T' Fig. 117 Seite 176.

Im Mittel ist der scheinbare Durchmesser des Mondes 31,5, der der Sonne 32 Minuten, die Spitze des Mondkernschattens reicht demnach nicht immer bis auf die Erde. Wenn aber die Sonne in ihrer Erdferne, der Mond gerade in seiner Erdnähe ist, so ist der scheinbare Durchmesser der Sonne 31,5, der des Mondes 34 Minuten, und in diesem Falle ist der Kernschatten des Mondes länger als der Abstand der Erde von demselben; der Kernschatten trifft also noch auf die Erdoberfläche, wie dies auch in der schematischen Fig. 124 (a. f. S.) der Fall ist, in welcher S die Sonne, L den Mond und T die Erde darstellt.

An den gerade vom Kernschatten des Mondes getroffenen Stellen

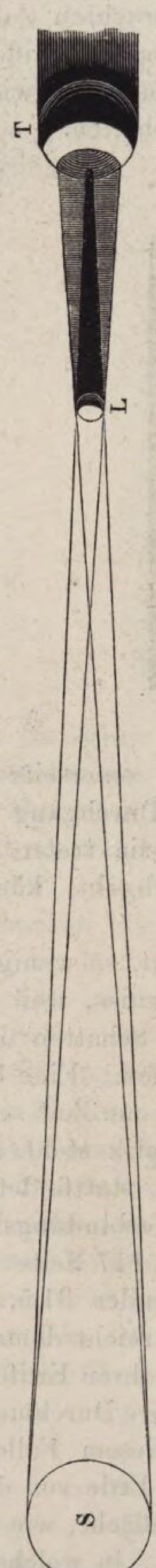


Fig. 124.

der Erde ist die Sonnenscheibe vollständig durch den Mond verdeckt, es findet eine totale Sonnenfinsterniss an diesen Orten Statt.

Für denjenigen Ort der Erde, von welchem aus gesehen die Mittelpunkte der Sonne und des Mondes sich decken, ist die Finsterniss eine centrale; natürlich kann sie nur für einen Augenblick central sein. Die centrale Finsterniss ist zugleich eine ringförmige, wenn gerade der scheinbare Durchmesser des Mondes kleiner ist als der scheinbare Durchmesser der Sonne.

Fig. 125 stellt die ringförmige Sonnenfinsterniss vom 15. März 1858 dar, wie sie z. B. in Oxford erschien.

Der Kernschatten des Mondes ist von einem Halbschatten umgeben, dessen Durchmesser mit der Entfernung vom Monde zunimmt, wie die Figur 124 zeigt. An der Stelle, an welcher die Erde in denselben eintreten kann, ist der Durchmesser seines Querschnittes ungefähr dem Halbmesser der Erde gleich; er ist kleiner, wenn der Kernschatten des Mondes die Erde noch trifft, grösser, wenn dies nicht mehr der Fall ist. An solchen Orten der Erdoberfläche, welche in dem Halbschatten des Mondes liegen, erscheint nur ein Theil der Sonnenscheibe durch den Mond verdeckt; hier ist die Sonnenfinsterniss eine partiale.

Um die Grösse der Bedeckung bei einer partialen Finsterniss anzugeben, denkt man sich den Durchmesser der Sonne, welcher in die Verbindungslinie der Mittelpunkte der Sonnen- und Mondscheibe fällt, in 12 gleiche Theile (Zolle) getheilt und giebt dann an, wie viele Zolle verdeckt sind. So zeigt Fig. 126 eine Verfinsterung von 3, eine solche von 6 und endlich eine solche von 9 Zoll.

Eine Mondfinsterniss bietet auf der ganzen Erdhälfte, für welche sich der in den Erdschatten eingetauchte Mond über dem Horizont befindet, ganz den gleichen Anblick dar. Der Moment, in welchem man den Mond gerade in den Erdschatten eintreten sieht, ist derselbe für alle Orte der Erde, an denen überhaupt das Phänomen sichtbar ist. Ebenso sehen die Beobachter der verschiedensten Gegenden den Mond in demselben Moment wieder aus dem Schatten hervortreten. Ganz anders verhält es sich bei Sonnen-

finsternissen. Während an einem Orte eine totale Sonnenfinsterniss stattfindet, beobachtet man in benachbarten Gegenden nur eine partiale, in entfernteren gar keine Sonnenfinsterniss; ebenso sind die Zeitpunkte, in welchen die Sonnenfinsterniss beginnt und endet, für verschiedene Orte auf der Erde nicht dieselben.

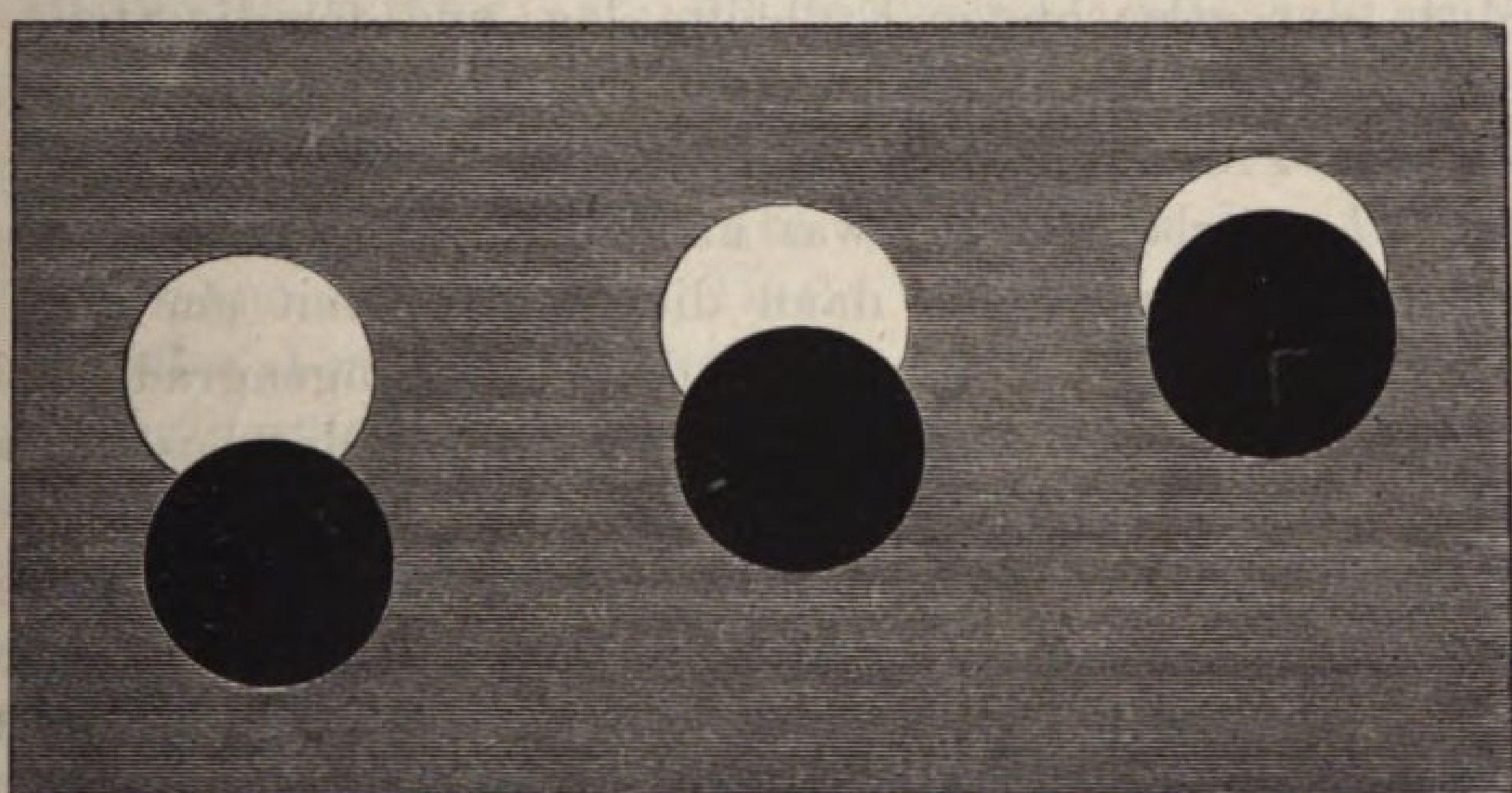
Fig. 125.



Die eben angedeuteten Verhältnisse werden am besten erläutert, wenn wir den Vorgang irgend einer speciellen Sonnenfinsterniss näher betrachten, und besonders, wenn wir untersuchen, welches der Verlauf der Erscheinung, vom **Mond aus betrachtet**, sein wird.

Am 4. April 1856 fand eine in Australien sichtbare Sonnenfinsterniss statt. Dem Berliner astronomischen Jahrbuche zufolge war der Moment der Conjunction von Sonne und Mond am 4. April $18^h\ 43'\ 35''$ Berliner Zeit. In diesem Augenblick war die geocentrische Länge der Sonne und des Mondes (nämlich der Mittelpunkt beider Himmelskörper) $15^0\ 38'\ 21''$. Die heliocentrische Länge des Mittelpunktes der Erde sowohl wie des auf die Erde fallenden Mondschattens war demnach in dem fraglichen Momente $195^0\ 38'\ 21''$; die gleichzeitige südliche Breite des Schattenmittelpunktes war $48'\ 24{,}6''$.

Fig. 126.



In Fig. 5 auf Tab. X., welche nach demselben Maassstabe gezeichnet ist, wie die Figuren 119 bis 121, stellt AB ein Stück der Ekliptik, C den Mittelpunkt der Erde und m den Mittelpunkt des Mondschattens für den Moment der Conjunction dar. Zur Zeit jener Finsterniss war dem astronomischen Jahrbuche zufolge die Horizontalparallaxe des Mondes gleich $61'\ 9{,}6''$, ein mit dem Halbmesser $61{,}1'$ um den Mittelpunkt C beschriebener Kreis stellt also den Umfang der vom Monde aus betrachteten Erdkugel dar, wenn die weissen Kreise in den Figuren 119 bis 121 den Mond darstellen, wie wir ihn von der Erde aus sehen.

Die Figur zeigt uns nun die Erdhälfte, welche im Moment der fraglichen Conjunction gerade der Sonne zugewandt war. Der Kernschatten des Mondes fiel in diesem Augenblick auf die südwestliche Spitze von Neuholland; hier, innerhalb des kleinen schwarzen Kreises, fand eben eine totale Sonnenfinsterniss Statt.

Dieser Kernschatten war aber von einem Halbschatten umgeben, welcher den grössten Theil von Neuholland bedeckte und sich nördlich bis zur Insel Java erstreckte. An allen Orten, welche innerhalb dieses Halbschattens lagen, fand eine partiale Sonnenfinsterniss Statt, und zwar war der von dem Monde bedeckte Theil der Sonnenscheibe um so kleiner, je weiter man von dem Kernschatten entfernt war. Ueber die Gränze des Halbschattens hinaus, also in ganz Asien und Afrika, fand keine Bedeckung der Sonnenscheibe Statt.

Unsere Figur stellt den auf die Erde fallenden Mondschatten nur für einen bestimmten Moment dar; vor und nach diesem Zeitpunkte aber musste der Schatten auf andere Gegenden fallen, wie man leicht ersehen kann, da der Mittelpunkt des Mondschattens in der Richtung der Linie DF fortschritt, während gleichzeitig die Erde in der Richtung des kleinen am Aequator gezeichneten Pfeiles um ihre Axe rotirte. Auf der Linie DF sind die Punkte bezeichnet, in denen sich der Mittelpunkt des Mondschattens um 16^h, 17^h u. s. w. bis 21^h (Berliner Zeit) befand. Der Mondschatten traf die Erde zuerst, als der Mittelpunkt desselben sich in a befand, um $16^h\ 36'$ Berliner Zeit, also zu einer Zeit, in welcher ungefähr der 131. Längengrad (etwas östlich von der Ostküste Chinas) in der Mitte der erleuchteten Erdhälfte lag, und für die Stelle, wo der Erdäquator die Ostküsten Afrikas schneidet, die Sonne eben aufging. Das Ende der Finsterniss fand statt, als der Mittelpunkt des Mondschattens in b angelangt war, was um $21^h\ 8'$ Berliner Zeit statt fand, bis zu welchem Zeitpunkt sich dann die Erde so weit um ihre Axe gedreht hatte, dass nun die Sonne auf dem 74. Längengrade östlich von Ferro culminirte, also der Eingang des persischen Meerbusens, das Uralgebirge und Nowaja-Semlia Mittag hatten und die Sonne für den östlichen Theil von Neu-Guinea und Neuholland bereits untergegangen war.

Ohne auf eine genauere Bestimmung des Weges, welchen der Kernschatten des Mondes auf der Erdoberfläche zurücklegte und der Gränzen einzugehen, innerhalb welcher die Finsterniss vom 4. April 1856 sichtbar war, ist aber doch aus dem bisher Gesagten mit Hülfe der Figur 5 auf Tab. X klar, dass die fragliche Sonnenfinsterniss überhaupt in Neuholland und den nördlich und östlich davon gelegenen Inseln sichtbar war, dass aber die Linie der centralen Verfinsterung Neuholland durchschnitt.

Da der Mondschatten auf der Erde von Westen nach Osten fortschreitet, so ist klar, dass wir den Mond auf der Westseite der Sonnenscheibe ein-, auf der Ostseite derselben austreten sehen.

Wo eine Sonnenfinsterniss wirklich total wird, entsteht eine ganz eigenthümliche Dunkelheit, der Himmel erscheint grau und man erblickt

einzelne der helleren Sterne. Die schwarze Mondscheibe ist von einer wallenden breiten Lichtung umgeben, von welcher aus sich gelbliche Strahlen verbreiten.

Von der totalen Sonnenfinsterniss, welche im August 1868 im südlichen Asien stattfand und von der eigenthümlichen Erscheinung des Strahlenkranzes, welche man während einer totalen Sonnenfinsterniss wahrnimmt, wird weiter unten noch ausführlicher die Rede sein.

Für ein eingehenderes Studium der Sonnen- und Mondfinsternisse ist ein von Dr. A. Drechsler im Jahre 1858 zu Dresden über diesen Gegenstand erschienenes Werkchen zu empfehlen.

Die nächsten Sonnenfinsternisse. Am 17. Juni 1871 findet 76
eine für Deutschland unsichtbare, ringförmige Sonnenfinsterniss Statt; sie ist in dem indischen Ocean und der Südsee sichtbar. Die Bahn der ringförmigen Phase geht nördlich von der Nordostküste von Australien vorüber und durchschneidet Neu-Guinea.

Am 11. December 1871 findet eine gleichfalls für Deutschland unsichtbare aber totale Sonnenfinsterniss Statt. Sie ist im südlichen Asien und Australien sichtbar und die Linie der totalen Verfinsterung läuft ungefähr von der südöstlichsten Spitze Arabiens nach der Südspitze von Vorderindien, durchschneidet Sumatra und streift die Südküste von Neu-Guinea.

Im Jahre 1872 finden abermals zwei Sonnenfinsternisse Statt, welche beide in Europa unsichtbar bleiben. Die erste derselben ist eine am 5. Juni stattfindende ringförmige Finsterniss, welche in ganz Asien sichtbar ist. Die Linie der centralen Verfinsterung durchschneidet die Südspitze von Vorderindien und verlässt nördlich von Korea den asiatischen Continent. Die zweite, totale Sonnenfinsterniss (30. November) ist überhaupt nur im südlichen Theile von Südamerika sichtbar. Die Linie der totalen Verfinsterung trifft keinen Continent, sie läuft südlich vom Cap Horn vorüber.

Erst das Jahr 1873 bringt uns wieder eine in Europa sichtbare partiale Sonnenfinsterniss und zwar am 25. Mai. Sie ist in ganz Europa mit Ausnahme des südlichen Italiens, der europäischen Türkei und des südöstlichen Theils des europäischen Russlands sichtbar. Der Kernschatten des Mondes trifft die Erde gar nicht, er geht über dem Nordpol der Erde vorüber.

Die zweite partiale Sonnenfinsterniss des Jahres 1873 (19. Nov.) ist nur auf der südlichen Hemisphäre sichtbar.

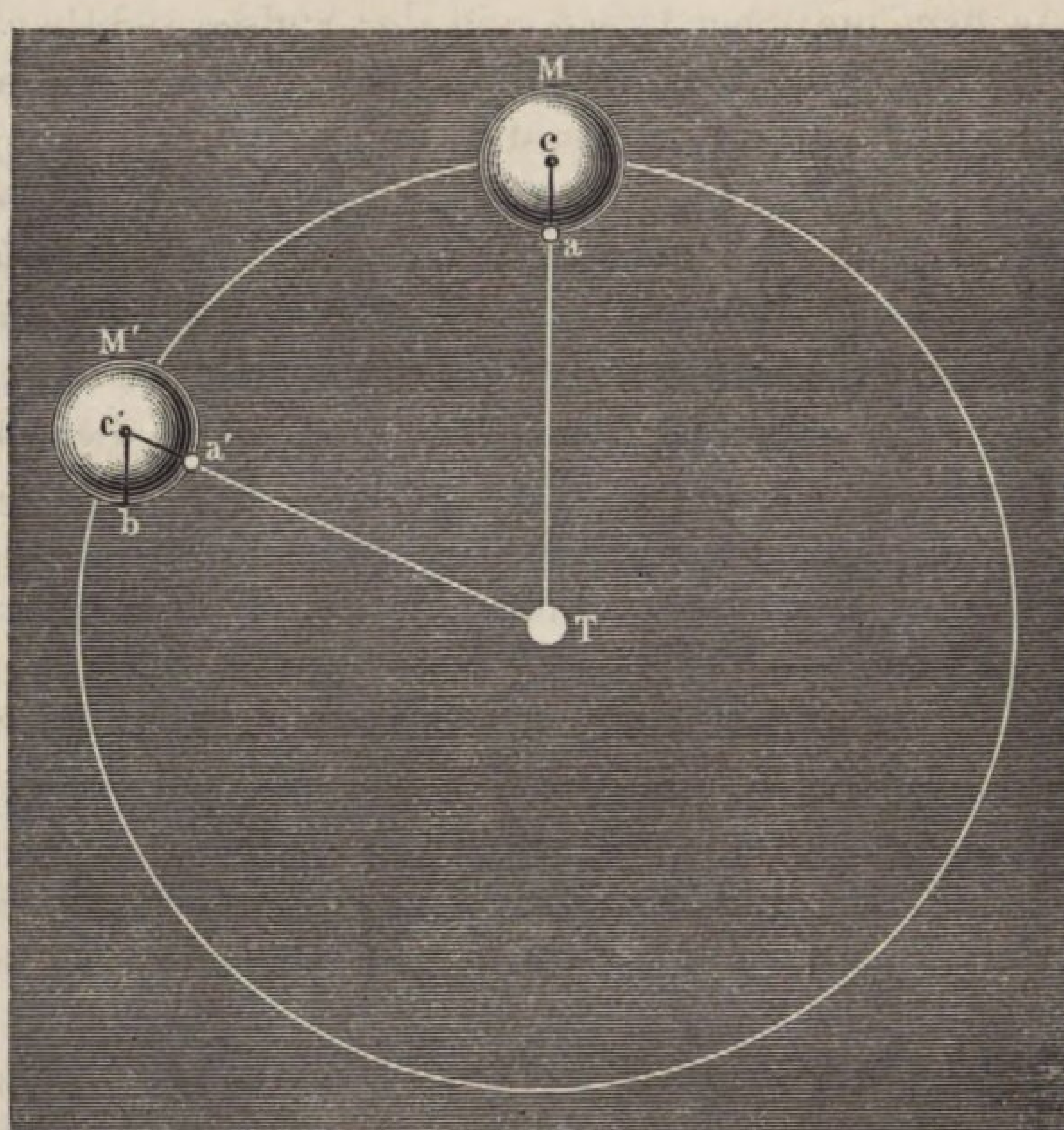
Axendrehung des Mondes. Schon mit blossem Auge unter- 77
scheidet man auf der Mondscheibe Flecken, welche dem Monde eine bestimmte Zeichnung geben. Diese Zeichnung bleibt nun stets unverändert, d. h. die einzelnen Flecken behalten ihre Stellung auf der Mondoberfläche, geringe Schwankungen abgerechnet, unverändert bei; ein Flecken,

welcher einmal in der Mitte der Scheibe liegt, wird uns immer an dieser Stelle erscheinen, er rückt nie an den Rand; bestimmte Flecken werden immer am westlichen, andere werden stets am östlichen Rande bleiben: kurz, der Mond wendet uns immer dieselbe Seite zu.

Es kommt uns also nur die eine Hälfte der Mondoberfläche zu Gesicht, die andere Hälfte bleibt uns stets unsichtbar.

Nach dieser Beobachtung lässt es sich nun leicht ausmitteln, wie es sich mit der Axendrehung des Mondes verhält. In Fig. 127 sei *T* die Erde, *M* die Stellung des Mondes in irgend einem beliebigen Augenblick. Wenn nun der Punkt *a* derjenige ist, welcher, von der Erde aus gesehen, gerade die Mitte der Mondscheibe bildet, so muss dieser Punkt in die

Fig. 127.



Stellung *a'* kommen, während der Mond von *M* bis *M'* in seiner Bahn fortschreitet, wenn stets derselbe Punkt die Mitte der von der Erde sichtbaren Mondhälfte bilden soll.

Fände während der fortschreitenden Bewegung des Mondes gar keine Axendrehung desselben Statt, so müsste der Punkt *a* an die Stelle *b* gelangen, während der Mond von *M* bis *M'* fortschreitet, so dass derselbe Mondhalbmesser, welcher vorher die Lage *ca* hatte, nun die parallele Richtung *c'b* einnähme. Wir haben aber gesehen, dass der fragliche Radius jetzt, wo der Mond in *M'* angekommen ist, die Lage *c'a'* hat; während also der Mond von *M* nach *M'* fortgeschritten ist, hat er sich um den Winkel *bc'a'* gedreht, welcher offenbar dem Winkel *c Tc'* gleich ist.

Aus der Thatsache, dass der Mond der Erde stets dieselbe Seite zuwendet, ergiebt sich also, dass er eine Axendrehung hat und dass er die Umdrehung um seine Axe in derselben Zeit vollendet, in welcher er seine Bahn um die Erde zurücklegt, die Rotationsdauer des Mondes ist also seiner siderischen Revolution gleich.

Dieser langsamen Axendrehung entsprechend hat der Mond keine irgend wahrnehmbare Abplattung.

Libration des Mondes. Obgleich uns im Wesentlichen stets 78
dieselbe Mondhälfte zugekehrt ist, so finden doch kleine Schwankungen in der Stellung der Mondoberfläche gegen die Erde Statt; bald sehen wir etwas weiter auf die Westseite, dann wieder etwas mehr auf die Ostseite der Mondkugel; bald ist uns der Nordpol des Mondes und dann wieder der Südpol desselben etwas mehr zugewandt; kurz der grösste Kreis, welcher die uns sichtbare Mondhälfte begränzt, hat auf der Mondkugel keine absolut feste Lage, sondern er wird sowohl in der Richtung von Ost nach West, als auch in der Richtung von Nord nach Süd etwas hin und her geschoben. Man bezeichnet diese Erscheinung mit dem Namen der Libration.

Insofern die erwähnte Schwankung in der Ebene des Mondäquators stattfindet, so dass alle Längenkreise des Mondes für den Beschauer auf der Erde bald etwas mehr nach Osten, dann wieder etwas mehr nach Westen gedreht erscheinen, nennt man sie Libration der Länge, während die rechtwinklig zum Mondäquator stattfindenden scheinbaren Schwankungen Libration der Breite genannt werden.

Die Libration der Länge rührt daher, dass der Mond sich in einer Ellipse um die Erde bewegt, während seine Axendrehung stets mit gleichförmiger Geschwindigkeit vor sich geht.

Fig. 128 stelle die elliptische Mondbahn dar, in deren einem Brennpunkte T die Erde steht. Zur Zeit des Perigäums steht der Mond in M, und a ist der Punkt, welcher, von der Erde aus gesehen, gerade die Mitte der Mondscheibe einnimmt. Nachdem nun der vierte Theil der ganzen Umlaufszeit verflossen ist, befindet sich der Mond in M'; er hat aber unterdessen eine Drehung von 90⁰ um seine Axe gemacht, der Mondhalbmesser, welcher vorher die Lage ca hatte, wird sich also jetzt in der Lage $c'a'$ befinden; dieser Radius ist aber jetzt nicht mehr derjenige, dessen Verlängerung gerade zur Erde hinführt, sondern b ist der Punkt, welcher, von der Erde aus gesehen, die Mitte der Mondscheibe einnimmt, die Mondoberfläche erscheint also gegen die Erde um den Winkel $bc'a'$ nach Osten gedreht.

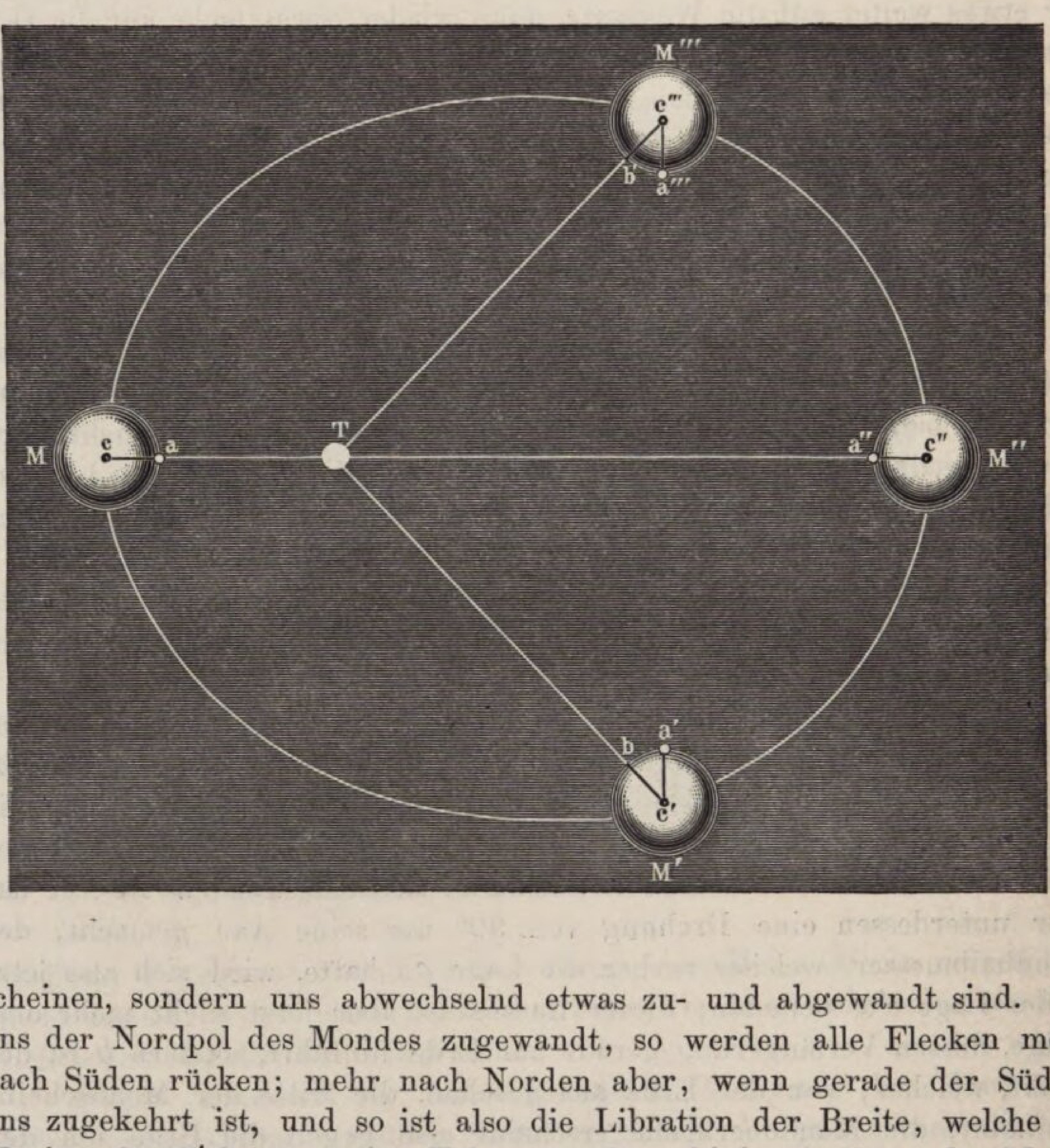
Ist der Mond im Apogäum, also in M'', angelangt, so ist, von dem Moment des Perigäums aus gerechnet, die Hälfte seiner ganzen Umlaufszeit verflossen; in dieser Zeit hat er aber eine Drehung von 180^0 um seine Axe gemacht, der Punkt a nimmt also wieder die Mitte der Mondscheibe ein, während derselbe Punkt sich in a''' befindet, also um den

Winkel $b' c''' a'''$ nach Westen gedreht erscheint, wenn der Mond nach M''' gelangt ist.

Die Libration der Länge (also der Winkel $b c' a'$ oder $b' c''' a'''$) kann bis zu 7° 53′ auf jeder Seite wachsen.

Wäre die Mondaxe genau rechtwinklig zur Mondbahn, so würden wir nur die Libration der Länge wahrnehmen; nun aber macht der Mondäquator mit der Ebene der Mondbahn einen Winkel, welcher im Mittel 6° 38′ beträgt, und so kommt es, dass die Mondpole nicht — wie es bei streng senkrechter Lage seiner Axe sein würde — im Rande er-

Fig. 128.



scheinen, sondern uns abwechselnd etwas zu- und abgewandt sind. Ist uns der Nordpol des Mondes zugewandt, so werden alle Flecken mehr nach Süden rücken; mehr nach Norden aber, wenn gerade der Südpol uns zugekehrt ist, und so ist also die Libration der Breite, welche im Maximo 6° 47′ beträgt, eine Folge von der schiefen Stellung der Mondaxe gegen seine Bahn.

Es ist klar, dass die Ansicht der Mondscheibe, von verschiedenen Orten der Erde aus gesehen, nicht genau dieselbe ist; die aus dieser Ursache stammenden Variationen werden **parallaktische Libration** genannt.

Die Oberfläche des Mondes. Mit unbewaffnetem Auge oder 79
auch durch ein ganz schwach vergrösserndes Fernrohr betrachtet, erscheint der Vollmond als eine weisse Scheibe, welche mit mehreren grauen Flecken bedeckt ist; man hielt früher diese dunkleren Stellen für Meere, die helleren für Land, und obgleich man sich später davon überzeugte, dass auf dem Monde keine Meere sind, so haben diese dunklen Partien doch ihre alten Namen beibehalten, und so findet man denn auf den Mondkarten noch immer ein Mare humorum, ein Mare nubium u. s. w. Auf unserer Mondkarte, Tab. XI., sind bezeichnet:

Mare nubium	mit	*a*,	Mare tranquillum	mit	*e*,
Mare humorum	„	*b*,	Mare crisium	„	*f*,
Mare imbrium	„	*c*,	Mare foecunditatis	„	*g*,
Mare serenitatis	„	*d*,	Mare nectaris	„	*h*.

Wenn man den Mond durch ein Fernrohr betrachtet, so beobachtet man unverkennbare Erhöhungen und Vertiefungen, kurz Berge, welche jedoch nur an solchen Stellen deutlich unterschieden werden können, welche an der Gränze der Lichtphasen liegen, also nur in denjenigen Mondgegenden, für welche die Sonne eben auf- oder untergeht. Die Gebirge werfen dann mehr oder minder lange Schatten, deren schwarze, oft haarscharf endende Gestalten einen überaus schönen Anblick gewähren, wie dies die beiden unteren Figuren auf Tab. XI. a. anschaulich machen sollen, welche, wie auch zum Theil die folgenden Schilderungen, einem Werk von Julius Schmidt über den Mond entnommen, zwei gerade an der Gränze der Erleuchtung liegende Mondlandschaften darstellen. Die tiefen Krater und Ringgebirge sind noch von Nacht erfüllt; rings umglänzt sie als schmaler Goldsaum der höchste Kamm des schon erleuchteten Walles und oft ragt sternähnlich der Gipfel eines Centralberges aus der Finsterniss der Tiefe empor, den eben erst das Licht der Sonne getroffen hat. Mit dem Steigen der Sonne verändert sich die Scene; die Schatten werden kürzer und mit dem Verschwinden der letzten Schattenspur verliert sich die Schärfe der Umrisse, so dass bei voller Beleuchtung alle die Einzelheiten verschwinden, welche man an der Gränze zwischen der erleuchteten und der dunklen Hälfte wahrgenommen hatte. — Der Vollmond zeigt nur Differenzen des Lichts und der Farbe. Den Haupteindruck gewähren die dunklen Flächen, welche schon dem unbewaffneten Auge sichtbar sind und in welchen sich, von einzelnen Bergen ausgehend, schmale Lichtstreifen verbreiten. Aber das unendliche Detail von Bergen, Hügeln und kleinen Kratern, welches zur Zeit der Phasen den Beobachter in Erstaunen setzte, ist auf dem Vollmond fast ganz verschwunden.

Hevel hatte den Mondbergen die Namen irdischer Gebirge beigelegt, während Riccioli es vorzog, die Nomenclatur Hevel's zu verlassen, indem er die Mondberge nach berühmten Männern und namentlich nach Astronomen benannte. Diese Bezeichnung ist bis jetzt allgemein in Gebrauch geblieben und so finden wir denn auf unseren Mondkarten einen

Archimedes, einen Kepler, Tycho, Manilius, Galiläi u. s. w., während nur einige Bergketten die Namen irdischer Gebirge behalten haben.

Wendet man das Fernrohr auf eine gerade gut beleuchtete Gebirgslandschaft des Mondes, so fällt selbst dem ungeübtesten Beobachter das Vorherrschen kreisförmiger Gebilde auf, welche sich in Tausenden von Beispielen in grösserem und kleinerem Maassstabe wiederholen und mit dem gemeinschaftlichen Namen der Ringgebirge bezeichnet werden. In unserer Mondkarte Tab. XI. sind diese ringförmigen Bildungen deutlich zu erkennen, der Maassstab derselben ist der Art, dass 10 Meilen auf der Karte eine Länge von 3,8 Millimeter einnehmen, 1 Meile also nahezu durch eine Länge von 0,4 Millimeter dargestellt wird. Die ausgezeichnetsten Ringgebirge sind auf Tab. XI. mit Ziffern bezeichnet, denen folgende Namen entsprechen:

1. Archimedes,	8. Purbach,	15. Galiläi,
2. Plato,	9. Regiomontan,	16. Grimaldi,
3. Copernicus,	10. Ptolemäus,	17. Aristarch,
4. Kepler,	11. Apian,	18. Autolicus,
5. Gassendi,	12. Frascator,	19. Aristippus,
6. Tycho,	13. Plinius,	20. Eratosthenes,
7. Arzach,	14. Manilius,	21. Aristoteles.

Die schon erwähnten Mondlandschaften auf Tab. XI. a. stellen die entsprechenden Gegenden dar, wie sie bei günstigster Beobachtung durch stark vergrössernde Fernrohre gesehen werden; sie sollen dazu dienen, den Charakter der Gebirgsbildungen auf dem Monde zu erläutern und zwar bietet die Landschaft links ein Beispiel von Kettengebirgen, während in der Landschaft rechts kraterartige Bildungen entschieden vorherrschend sind.

Die grösseren Ringgebirge, deren Durchmesser oft über 30 Meilen beträgt, nennt man Wallebenen. Es sind dies grössere, nahezu ebene Regionen, welche von einem sich mehr oder weniger der Kreisgestalt nähernden Gebirgswall umschlossen sind. Dieser Gebirgswall erscheint aber vielfach zerklüftet und durch kleinere Krater unterbrochen, wie denn auch im Innern dieser Wallebenen Hügel und kleine Krater auftreten.

Clavius und Maginus, welche auf Tab. XI.a. in der Figur unten rechts mit 1 und 2 bezeichnet sind, können als charakteristische Beispiele solcher Wallebenen dienen.

An diese Wallebenen schliessen sich in Betreff der Grössenverhältnisse zunächst die grossen Krater von 5 bis 12 Meilen Durchmesser an, welche sich durch eine grössere Annäherung an die Kreisform und namentlich durch eine bedeutende Vertiefung des Beckens, welche sie mit den kleineren Kratern gemein haben, vor den Wallebenen auszeichnen. Der meist mauerartige Wall zeigt eine grosse Regelmässigkeit und ist selten durch kleinere Krater unterbrochen, nach Innen aber mit

doppelten bis fünffachen Terrassen besetzt. In der Mitte des Beckens erhebt sich meist ein einfacher Berg, der aber selten die Höhe des Walles erreicht.

Diese grösseren Krater sind auch noch durch grosse Helligkeit des oberen Saumes und oft durch ein Strahlensystem ausgezeichnet, welches sich von ihnen aus bis weit in die grauen Ebenen erstreckt. — Zu den grösseren Kratern dieser Classe gehören Tycho (Nro. 3 in der erwähnten Mondlandschaft), Copernicus, Aristoteles u. s. w. Zu den kleineren Kepler, Aristarch, Manilius u. s. w.

Die kleinen Krater, deren Zahl auf der uns zugewandten Seite des Mondes auf 50 000 steigt, kommen ohne Ausnahme in allen Gegenden vor und erscheinen vielfach als Unterbrechung der grösseren Gebirgsformen, weshalb man sie als die jüngsten Mondgebilde betrachtet.

An diese Kraterbildungen schliessen sich die Rillen an, welche man gewissermaassen als Längenkrater bezeichnen kann und welche als schmale Furchen, als grabenartige, weit sich erstreckende Vertiefungen erscheinen. Die Rillen, nur durch die besten Fernrohre sichtbar, sind 4 bis 20 Meilen lang, 1800 bis 12 000 Fuss breit und 300 bis 1200 Fuss tief.

Obgleich die Ringgebirge auf dem Monde die vorherrschenden sind, so finden sich doch auch Bergmassen, welche ohne besondere Ordnung aufgethürmt erscheinen und die man Massen- oder Kettengebirge nennt. Diese Gebirge sind aber, wenn auch in ihrem Zuge eine bestimmte Richtung vorherrscht, sehr von den grossen Gebirgszügen der Erde verschieden, denn die Kettengebirge des Mondes erscheinen nur als unregelmässig zusammengestellte und aufgethürmte Berggipfel, an welchen wir Gebirgsthäler und Kämme im Sinne unserer irdischen Gebirge vergebens suchen.

Das Mondgebirge Kaukasus, von welchem ein Theil in der Mondlandschaft erscheint, welche auf Tab. XI a. unten links steht, mag als Beispiel derartiger Gebirgsbildungen dienen. Die in dieser Landschaft mit *A* bezeichnete Parthie ist ein Theil des mare serenitatis.

Wenden wir uns endlich zu den schon flüchtig erwähnten Strahlensystemen des Mondes, welche sich von gewissen Punkten radienartig verbreiten und beim Vollmond in den grauen Ebenen besonders auffällig sind. Sie erscheinen im Gebirge, in den Kratertiefen, in den grauen Ebenen nur als Modification der Bodenfarbe; sie verschwinden in der Nähe der Lichtgränze, ohne auch nur eine Spur eines Schattens zu zeigen, folglich sind sie weder Erhöhungen noch Vertiefungen.

Die Höhen der Mondgebirge kann man auf zweierlei Art ermitteln, entweder aus der Länge der Schatten oder, wenn ein erleuchteter Berggipfel ringsum noch von Nacht umgeben ist, aus dem Abstand des hellen Punktes von der allgemeinen Lichtgränze. Auf diese Weise hat schon Galiläi die Höhe einiger Mondberge ziemlich genau bestimmt. Nach den besten Messungen sind folgende die höchsten Kuppen der Massengebirge:

Dörfel . . .	23 000	Pariser Fuss
Apenninen . .	17 000	„ „
Kaukasus . .	17 000	„ „

Folgendes sind die Höhen einiger Ringgebirge:

Newton . . .	22 000	Pariser Fuss
Tycho . . .	16 000	„ „
Copernicus . .	11 000	„ „
Aristarch . .	6 000	„ „

Die Mondgebirge kommen also an Höhe den bedeutendsten Berggipfeln der Erde sehr nahe.

Die Schatten der Mondberge sind vollkommen schwarz, so dass man an den vom Schatten bedeckten Stellen auch nicht das allermindeste Detail zu erkennen im Stande ist. Wo also auf dem Monde die Sonnenstrahlen nicht unmittelbar hintreffen, ist absolute Nacht. Die allgemeine Tageshelle, welche in dem Schatten irdischer Gegenstände herrscht, fehlt auf dem Monde ebenso wie jede Spur von Dämmerung, woraus hervorgeht, dass der Mond keine Atmosphäre hat, dass auf der Mondoberfläche also auch kein Wasser vorhanden sein kann, dessen Dämpfe ja für sich schon eine Atmosphäre herstellen würden. Auf dem Monde ist demnach auch ein organisches Leben der Art, wie es auf der Erdoberfläche vorkommt, ganz unmöglich.

Es ist bereits §. 70 S. 171 bemerkt worden, dass das Verschwinden und Wiedererscheinen von Sternen, über welche der Mond gleichsam wegschreitet, ganz plötzlich ist, d. h. dass sie, ehe sie mit dem Mondrande in Berührung kommen oder nachdem sie denselben verlassen haben, keinerlei Ablenkung von der Stelle erfahren, an welcher man sie auch ohne die Annäherung des Mondes sehen würde. Auch diese Thatsache beweist die gänzliche Abwesenheit einer Mondatmosphäre.

80 **Darstellungen der Mondoberfläche.** Schon Galiläi hat es versucht, eine bildliche Darstellung der Mondoberfläche zu geben, seine im Nuntius sidereus publicirten Mondbilder von ungefähr 7 Centimetern Durchmesser sind aber ebenso wie die Scheiner'schen noch höchst unvollkommen. Die erste, einigermaassen brauchbare Mondkarte brachte Hevel im Jahre 1643 zu Stande, und veröffentlichte sie nebst 40 Phasenzeichnungen in seiner Selenographie. Hevel's Mondkarte blieb länger als 100 Jahre die beste. Erst Tob. Mayer in Göttingen gab eine kleine aber höchst sorgfältig nach wirklichen Messungen gezeichnete Mondkarte heraus, welche wieder bis auf die neueren Zeiten die beste blieb. In seinen selenographischen Fragmenten (1791) gab Schröter zahlreiche Darstellungen einzelner Parthien der Mondoberfläche, bei deren Aufnahme er aber nicht objectiv genug verfuhr, wodurch der Werth derselben wesentlich beeinträchtigt wurde.

Im Jahre 1824 erschienen 4 Blätter einer von Lohrmann nach richtigen Principien aufgenommenen und gezeichneten Mondkarte, welche aber erst ein Neuntel der ganzen uns sichtbaren Mondoberfläche darstellten. Das Werk blieb unvollendet. Im Jahre 1838 erschien eine höchst werthvolle Lorhmann'sche Generalkarte des Mondes.

Im Jahre 1830 begannen Beer und Mädler eine nach Lohrmann's Plan, aber ausschliesslich auf eigene Beobachtungen gegründete Mondkarte anzufertigen, welche im Jahre 1836 in 4 Blättern unter dem Titel Mappa selenographica erschien und das vollendetste ist, was bis jetzt in dieser Beziehung geleistet wurde. Der Durchmesser dieser, die feinsten Details zeigenden Mondkarte beträgt 3 Fuss.

Vortreffliche in grösserem Maassstab ausgeführte Karten einzelner Mondlandschaften hat auch Julius Schmidt in Athen veröffentlicht.

Die grosse Mondkarte von Beer und Mädler zu Grunde legend, hat Conservator Dickert in Bonn ein 18 Fuss im Durchmesser haltendes Relief der uns sichtbaren Mondhälfte ausgeführt. Auf einer Hohlkugel von Holz sind 116 gegossene Gypsplatten von je 15 Grad Länge und 15 Grad Breite genau aneinander gefügt, auf deren Oberfläche die entsprechenden Gebirgsparthien in erhabener Arbeit dargestellt sind. Die horizontalen Dimensionen der Gebirge sind in $^1/_{600000}$, die Höhen aber in dreifachem Maassstab, also in $^1/_{200000}$ der natürlichen Grösse aufgetragen. Dieses Relief, welches seiner Zeit in verschiedenen Städten Deutschlands gezeigt wurde, giebt eine überraschend lebhafte Anschauung der Mondoberfläche. — Einzelne Parthien dieses Reliefs, z. B. Copernicus, Tycho, Plato u. s. w., mit ihren nächsten Umgebungen werden für sich verkauft und geben ein treffliches Bild der Kraterbildung auf dem Monde. Es wäre sehr zu wünschen, dass Reliefs der ganzen sichtbaren Mondhälfte in kleinerem Maassstabe, etwa 2 bis 3 Fuss im Durchmesser, angefertigt und in den Handel gebracht würden.

Ein neues vortreffliches Mittel zur getreuen Darstellung der Mondoberfläche liefert die Photographie. Bereits im Jahre 1857 stellte Warren de la Rue eine Reihe ausgezeichneter Mondphotographien, von denen unter anderen eine Collection von 12 allerliebsten Phasenbildern durch Smith, Beck und Beck in London veröffentlicht wurden. Obgleich in diesen kleinen Bildern der Durchmesser des Mondes nur $4^1/_2$ Centimeter beträgt, so sind doch einzelne Krater und Ringgebirge mit überraschender Schärfe und Deutlichkeit erkennbar. Von wissenschaftlichem Werthe können aber nur grössere Phasenbilder dieser Art sein, deren Warren de la Rue gleichfalls mehrere ausgeführt hat, von denen nur zu wünschen wäre, dass sie durch den Buchhandel leichter zugänglich gemacht würden.

Eine ganz ausgezeichnete Photographie des Mondes ist diejenige, welche Rutherfurd in New-York am 6. März 1865 drei Tage nach dem ersten Viertel aufnahm. Der Mond erscheint in diesem Bilde in einem Durchmesser von 53 Centimetern; in ausgezeichneter Schärfe zeigt

es die Ringgebirge in der Nähe der Lichtgränze, so namentlich Plato, Archimedes, Aristippus und Autolikus, Eratosthenes, Copernicus, Ptolemäus, Alphons, Tycho und Andere.

Der Durchmesser des Plato ist auf diesem Bilde 15 Millimeter, der des Archimedes ist 12, der des Copernicus ist 14 Millimeter lang. Der innere Flächenraum des Plato ist noch ganz dunkel, während das ihn umfassende Ringgebirge, namentlich aber der innere östliche Abfall desselben hell erleuchtet ist. Copernicus liegt noch grösstentheils im Schatten, nur ein Theil des inneren östlichen Abhanges ist hell erleuchtet, weniger hell sind einige Parthien der westlichen Wallhälfte. Jenseits der Lichtgränze sind noch vielfach einzelne Lichtpunkte und Lichtstreifen sichtbar.

Von diesem schönen Mondbilde hat Photograph Vollenweider in Bern eine etwas verkleinerte sehr gelungene photographische Copie gemacht (Monddurchmesser 39 Cent.), deren Verlag die Dalp'sche Buchhandlung (Schmid) in Bern übernommen hat.

Eine noch mehr verkleinerte Copie des Rutherfurd'schen Mondbildes befindet sich in unserem Atlas als Tab. XI b. Die Namen der wichtigsten auf ihr sichtbaren Mondberge sind aus der beigefügten Erläuterungstafel XI c. zu ersehen.

Um eine Mondlandschaft aus photographischen Abbildungen genau kennen zu lernen, sind mehrere bei verschiedener Beleuchtung aufgenommene Bilder derselben nothwendig.

Astronomische Photographien können nur mit Hülfe eines grossen, parallaktisch aufgestellten und durch ein gleichförmig gehendes Uhrwerk gedrehten Fernrohrs gemacht werden. Schraubt man von einem solchen Instrument das Ocular ab, so erhält man im Brennpunkt des achromatischen Objectivs ein Mondbild, dessen Durchmesser ungefähr $^1/_{120}$ von der Brennweite des Objectivs ist, welches also fast $1^1/_2$ Zoll Durchmesser hat, wenn die Brennweite des Objectivs 14 Fuss beträgt. Ein gewöhnliches achromatisches Objectiv giebt keine ganz scharfe photographische Bilder. Rutherfurd berechnete sein Objectiv so, dass es ohne Berücksichtigung der optisch wirksamsten Strahlen möglichst gleiche Brennweite für die verschiedenen chemisch wirksamen Strahlen hatte. Der Durchmesser dieses Objectivs betrug $11^1/_4$ Zoll, seine Brennweite 14 Fuss.

Mit Hülfe eines solchen Objectivs wird nun zunächst ein negatives Collodium-Glasbild von ungefähr $1^1/_2$ Zoll Durchmesser hergestellt, welches aber so feine Details enthält, dass es eine namhafte Vergrösserung verträgt. — Ein solches negatives Original wird nun als Object in einen Apparat eingesetzt, welcher nach dem Principe der laterna magica in möglichster optischer Vollkommenheit construirt ist. Von Sonnenlicht oder von elektrischem Licht beleuchtet wird das kleine negative Mondbild mit 10 bis 14 maliger linearer Vergrösserung auf eine photographisch präparirte Glasplatte projicirt, auf welcher auf diese Weise ein grosses

positives Bild erzeugt wird. — Von diesem grossen positiven Glasbild wird nun zunächst wieder eine gleich grosse negative Copie hergestellt, welche dann in der gewöhnlichen Weise dient, um positive Copieen auf Papier zu machen.

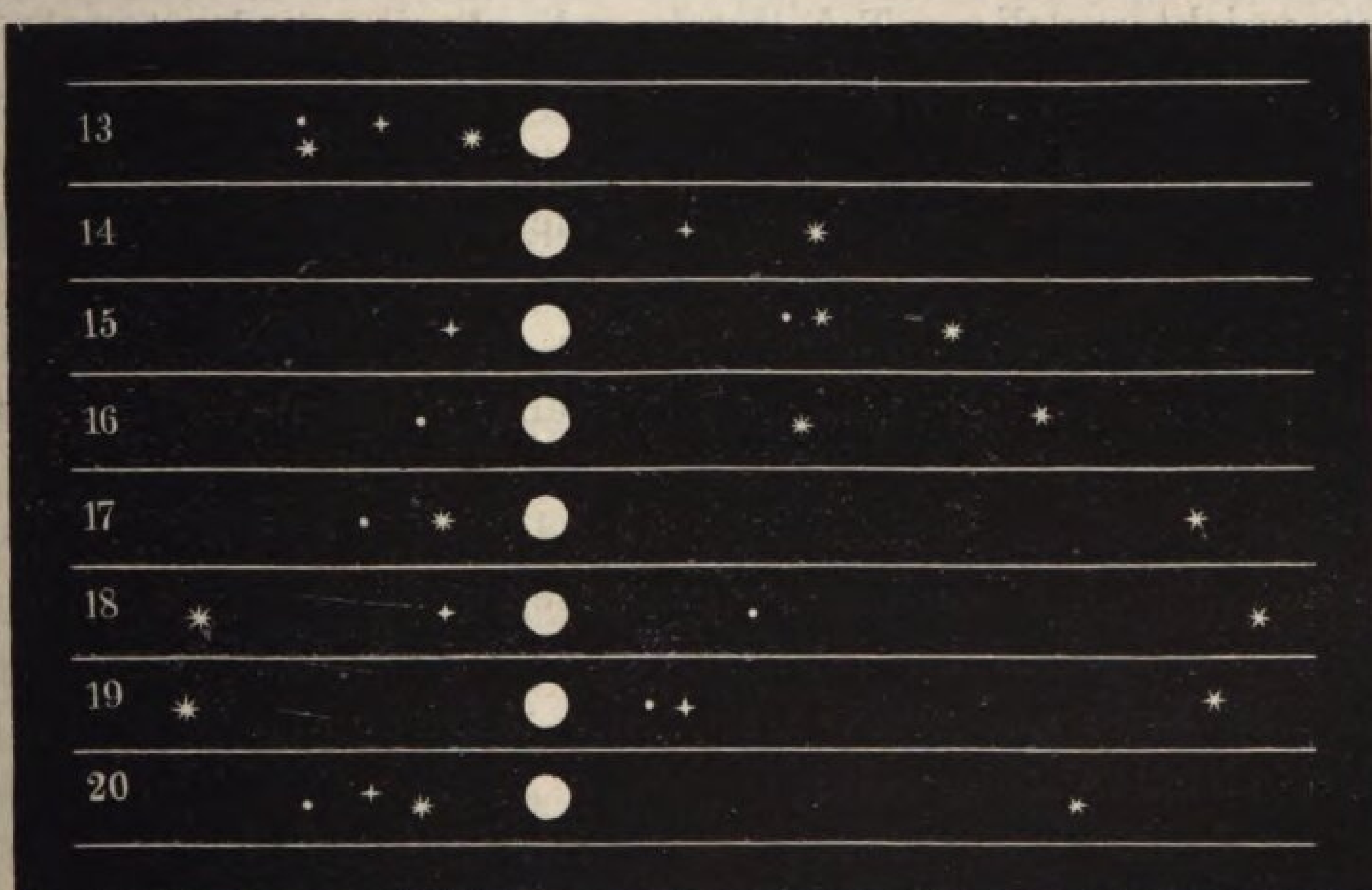
Wenn man die Rutherfurd'sche Photographie mit der Mondkarte von Beer und Mädler vergleicht, so muss man staunen über die Genauigkeit, mit welcher diese Karte alle Details der Mondoberfläche wiedergiebt.

Mit Hülfe von Mondphotographien wird man vielleicht dereinst auch entscheiden können, ob auf der Mondoberfläche wirklich gegenwärtig noch Veränderungen vor sich gehen. Aeltere Beobachtungen, nach welchen noch thätige Vulcane auf dem Monde vorkommen sollen, scheinen auf Täuschungen zu beruhen.

Lohrmann, Beer und Mädler versichern niemals eine wirkliche Veränderung auf der Mondscheibe beobachtet zu haben. Im October 1866 aber machte Schmidt in Athen die Wahrnehmung, dass der früher deutlich als ein sehr tiefer Krater wahrnehmbare Linné im mare serenitatis diese Kratergestalt gegenwärtig nicht mehr zeigt.

Die Trabanten des Jupiter. Wenn man den Jupiter durch 81
ein Fernrohr von mässiger Vergrösserung betrachtet, so sieht man, dass er von vier kleinen Sternchen begleitet ist, welche nahezu in einer

Fig. 129.



geraden Linie aufgestellt erscheinen. Schon nach einigen Stunden lässt sich eine Veränderung in der gegenseitigen Stellung dieser Sternchen wahrnehmen. Fig. 129 stellt den Jupiter mit seinen Trabanten dar, wie er sich vom 13. bis 20. März 1872 Abends um 10 Uhr zeigen wird und zwar bezeichnet das 8seitige Sternchen den 3., das 6seitige den 4., das Pünktchen den 2. und das 4seitige Sternchen den 1. Trabanten. Am

14. März wird der 2. und 4. Trabant hinter dem Jupiter stehen. Der erste Trabant befindet sich zu der bezeichneten Stunde am 16. gerade vor, am 17. gerade hinter dem Jupiter.

Aus einer genaueren Beobachtung der Jupiterstrabanten ergiebt sich nun, dass sie in Kreisen um den Planeten herumlaufen; die Ebene dieser Bahnen fällt beinahe mit der Ebene des Jupitersäquators zusammen und deshalb erscheinen sie uns fast ganz zur Linie verkürzt und wir sehen die einzelnen Trabanten in dieser Linie bald von Ost nach West und dann wieder von West nach Ost fortschreiten.

Die folgende Tabelle giebt die mittlere Entfernung der Jupiterstrabanten vom Mittelpunkt des Planeten in Jupitershalbmessern ausgedrückt nebst ihrer Umlaufszeit.

	Abstände.	Umlaufszeit.
1. Satellit	6,05	1,769 Tage
2. „	9,62	3,551 „
3. „	15,35	7,155 „
4. „	27,00	16,689 „

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass die Jupiterstrabanten das dritte Kepler'sche Gesetz befolgen, dass sich nämlich die Quadrate ihrer Umlaufszeiten verhalten wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Abstände vom Jupiter. Ebenso befolgen sie auch die beiden ersten Kepler'schen Gesetze.

Fig. 130 stellt den Jupiter mit den Bahnen seiner Trabanten in richtigem Grössenverhältniss dar. Die Stellung jedes der vier Satelliten in seiner Bahn am 1. October 1856 Abends 10 Uhr ist durch einen Punkt, die Stellung desselben in derselben Stunde des folgenden Tages durch einen kleinen Strich bezeichnet, vorausgesetzt, dass sich die Erde in der Richtung von J nach A hin befindet.

Von der Erde aus gesehen sind die mittleren scheinbaren Durchmesser der vier Jupitersmonde:

I. 1,0″ II. 0,9″ III. 1,5″ IV. 1,3″,

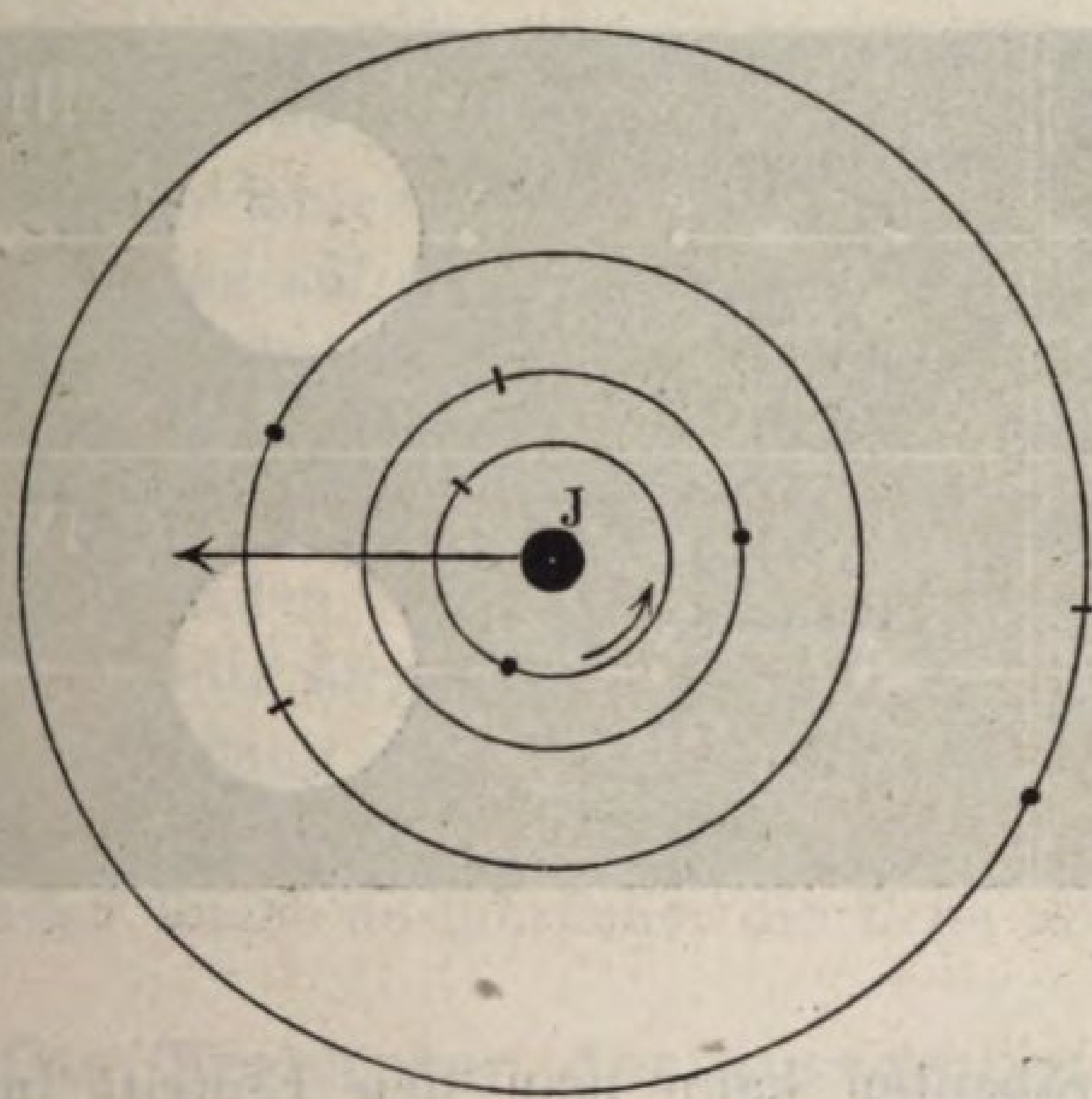
die wahren Durchmesser sind also:

I. 529 geogr. Meilen, III. 776 geogr. Meilen,
II. 475 „ „ IV. 664 „ „

Das Ansehen dieser Trabanten ist ungefähr das von Sternen sechster Grösse, man würde sie also wahrscheinlich mit blossem Auge wahrnehmen können, wenn sie nicht durch die Nähe ihres glänzenden Planeten unsichtbar blieben.

An den Bahnen der beiden inneren Trabanten kann man keine Abweichung von der Kreisgestalt nachweisen, die Bahnen der beiden äusseren zeigen aber eine geringe Excentricität. Die Neigung der Bahnen gegen die Ebene des Jupitersäquators ist sehr gering, sie übersteigt nicht die Grösse von einigen Minuten.

Fig. 130.



Da der Durchmesser des Jupiter sehr gross ist und die Trabanten ihm verhältnissmässig sehr nahe stehen, da ferner die Neigung ihrer Bahnen gegen den Aequator des Planeten und gegen die Bahn desselben sehr gering ist, so ereignet sich bei jedem Umlauf dieser Monde eine Sonnen- und eine Mondfinsterniss. Nur der vierte geht manchmal über oder unter dem Jupitersschatten vorbei, sowie denn auch sein Schatten manchmal nördlich oder südlich vom Jupiter an demselben vorübergeht.

Mit guten Fernrohren sieht man den Schatten, welchen die Trabanten auf den Jupiter werfen, als einen schwarzen Punkt über denselben hingehen. Mit weit geringeren Instrumenten aber kann man schon das Verschwinden und Wiedererscheinen der Jupiterstrabanten beobachten, wenn sie in den Schatten ihres Planeten ein- oder austreten.

Um diese interessante Erscheinung anschaulicher zu machen, ist in Fig. 131 und Fig. 132 (a. f. S.) dieselbe dargestellt, wie sie sich in den Monaten Juni und December des Jahres 1861 gezeigt hat.

Im Juni 1861, also zwischen der am 10. Februar stattgefundenen Opposition und der am 30. August stattgefundenen Conjunction des Jupiter mit der Sonne liegt der Schatten dieses Planeten von der Erde aus gesehen östlich von demselben; Ein- und Austritt der Trabanten in den Schatten des Jupiter kann man also in dieser Zeit also nur auf der Ostseite Jupiterscheibe wahrnehmen.

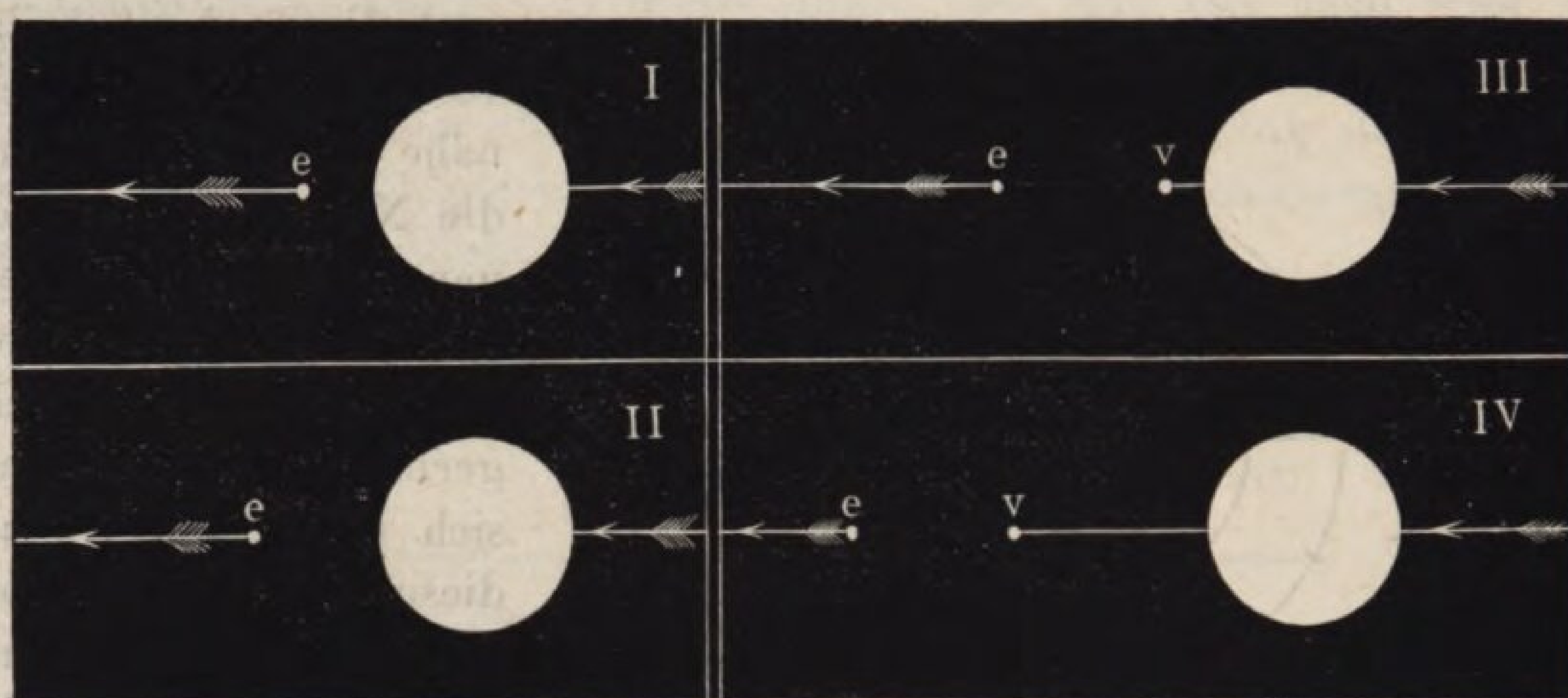
Auf der jenseitigen Hälfte ihrer Bahn bewegen sich die Trabanten in der Richtung von West nach Ost, sie werden also am Westrande des Jupiter verschwinden. Der erste Trabant tritt in den Schatten ein, während er sich noch hinter der Jupitersscheibe befindet und wird erst bei *e* (Nro. I. Fig. 131) wieder sichtbar, wenn er aus dem Schatten austritt.

Für den zweiten Trabanten ist die Erscheinung ganz die gleiche,

nur ist die Stelle *e* (Nro. II. Fig. 131), wo der Trabant wieder erscheint, etwas weiter vom Planeten entfernt.

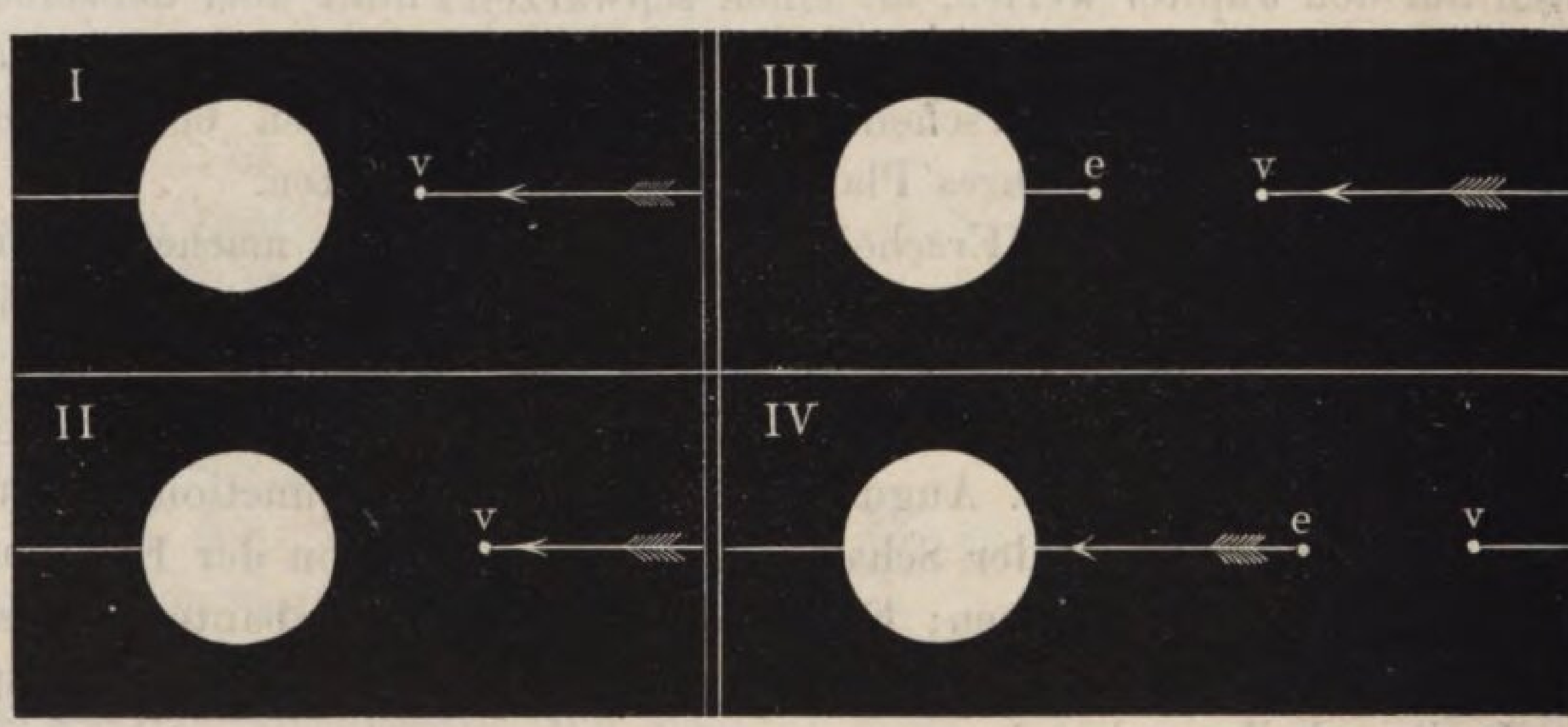
Der dritte Trabant wird sogleich wieder sichtbar, wenn er am Ostrande der Jupitersscheibe vortritt (Nro. III. Fig. 131); erst bei *v* verschwindet er, in den Schatten eintretend, aus dem er bei *e* wieder austritt.

Fig. 131.



Auch für den vierten Trabanten kann man den Eintritt in den Schatten und den Austritt aus demselben beobachten, nur ist die Stelle des Verschwindens *v* und die Stelle des Wiedererscheinens bei *e* weiter vom Jupiter entfernt, als für den dritten Trabanten, wie Fig. 131 Nro. IV zeigt.

Fig. 132.



Je mehr Jupiter sich der Conjunction mit der Sonne nähert, desto mehr verkürzt sich von der Erde aus gesehen der Schatten desselben, desto näher rücken also auch die Stellen des Verschwindens und Wiedererscheinens der Trabanten der Jupitersscheibe; so ist denn für den dritten Trabanten im Juli 1861 der Eintritt in den Schatten nicht mehr sichtbar.

Nach der Conjunction liegt der Schatten des Jupiter von der Erde aus gesehen auf der Westseite des Planeten; die Trabanten werden also auf der Westseite der Jupitersscheibe im Schatten verschwinden, ehe sie den Westrand des Planeten erreichen, wie dies Fig. 132 erläutert, welche die Erscheinung für den December 1861 darstellt.

In der Zeit von ♃ ☌ ☉ bis ♃ ☍ ☉ kann man von der Erde aus alle Eintritte der Trabanten in den Jupitersschatten, von ♃ ☍ ☉ bis ♃ ☌ ☉ dagegen alle Austritte der Monde aus diesen Schatten wahrnehmen. Da die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten sehr häufig vorkommen, so können sie sehr gut als himmlische Signale für Längenbestimmungen auf der Erde benutzt werden. Die astronomischen Ephemeriden enthalten die bis auf Bruchtheile einer Secunde vorausberechneten Momente der von der Erde aus sichtbaren Ein- und Austritte der Jupiterstrabanten nach der Zeit des Meridians der Sternwarte, auf welche sich die Ephemeriden beziehen.

Durch die sorgfältige Beobachtung der Verfinsterungen der Jupiterstrabanten gelang es dem dänischen Astronomen Römer im Jahre 1765, die Geschwindigkeit des Lichtes zu messen. Es wird davon im folgenden Buche ausführlicher die Rede sein.

Die Trabanten der äussersten Planeten. Sowohl Saturn 82
als auch Uranus sind von Satelliten umkreist, ja man hat bereits einen Trabanten des Neptun entdeckt.

Die Trabanten des Saturn sind weit schwieriger sichtbar als die Jupitersmonde. Während letztere sogleich nach Erfindung der Fernrohre entdeckt wurden, wurde der hellste der Saturnstrabanten erst im Jahre 1655 von Huyghens aufgefunden.

Bis jetzt kennt man 8 Saturnstrabanten. Der von Huyghens entdeckte ist vom Saturn an gerechnet der sechste. Cassini entdeckte den siebenten, fünften, vierten und dritten von 1671 bis 1687. Den ersten und zweiten entdeckte Herschel mit seinem Riesenteleskope in den Jahren 1788 und 1789.

Nur der sechste Trabant (dessen Abstand vom Saturn 22 Halbmesser dieses Planeten und dessen Umlaufszeit 15,9 Tage beträgt) ist ziemlich leicht sichtbar; die übrigen können nur durch ganz ausgezeichnete Instrumente wahrgenommen werden. Die beiden innersten Trabanten wurden erst lange Zeit nach ihrer Entdeckung durch Herschel wieder von Anderen gesehen, und zwar der zweite von Lamont im Sommer 1836, der erste von den Astronomen des Collegio Romano im Juni 1838. Die Entfernung des ersten Trabanten vom Mittelpunkt des Saturn beträgt 3,14, die des zweiten beträgt 4,03 Halbmesser des Saturn.

Der achte Mond des Saturn wurde im Jahre 1848 fast gleichzeitig von Bond in Nordamerika und von Lossel in England beobachtet. Ueber seine Stellung im System ist bis jetzt noch nichts Näheres bekannt.

Während die Bahnebenen der übrigen Saturnstrabanten nicht stark

von der Ebene des Ringes abweichen, beträgt die mittlere Neigung der Bahn des siebenten Trabanten gegen die Ringebene über 21 Grad.

Da Uranus selbst nur ein teleskopischer Planet ist, so ist wohl begreiflich, dass seine Satelliten sehr schwer sichtbar sind. Die beiden im Jahre 1787 von Herschel zuerst als ungemein feine Lichtpunkte entdeckten sind die einzigen, deren Existenz vollständig constatirt ist. Ausser ihnen beobachtete Herschel noch vier andere, die aber seitdem kaum wieder gesehen worden sind, und von denen sich also mit Sicherheit nichts Näheres angeben lässt.

Die beiden mit Sicherheit bekannten Uranusmonde zeigen eine merkwürdige Ausnahme von den sonst in unserem Planetensystem herrschenden Verhältnissen, indem sie rückläufig sind und ihre Bahnen fast rechtwinklig auf der Uranusbahn stehen. Für den äussersten dieser beiden Satelliten beträgt die Neigung der Bahn gegen die Ebene der Uranusbahn ungefähr 79 Grad.

Bis jetzt ist erst ein Trabant des Neptun beobachtet worden, von welchem aber noch nichts Näheres bekannt ist.

Sechstes Capitel.

Die Kometen und Meteorite.

Eigenthümlichkeiten der Kometen. Ausser den Planeten 83 giebt es noch eine grosse Anzahl anderer Gestirne, welche sich gleichfalls um die Sonne bewegen, sich aber von denselben sowohl durch ihr Ansehen als auch durch die Natur ihrer Bahnen wesentlich unterscheiden, nämlich die Kometen. Mit diesem Namen, den wir durch Haarsterne übersetzen können, bezeichnete man schon im Alterthum solche Gestirne, welche, durch einen mehr oder minder grossen Schweif ausgezeichnet, unvermuthet am Himmel erscheinen und, nachdem sie einen von den Planetenbahnen meist sehr abweichenden Weg unter den Fixsternen zurückgelegt haben, wieder verschwinden.

Der Aberglaube sah in den Kometen Vorboten von Krieg, Pest, Hungersnoth und von sonstigen Uebeln aller Art. Die Ungereimtheit einer solchen Meinung trat in dem Maasse deutlicher hervor, als man das Wesen der Kometen näher kennen lernte und nachzuweisen im Stande war, dass ihre Bahnen denselben Bewegungsgesetzen folgen, wie die Planetenbahnen. Dass die Erscheinung der Kometen ebenso wenig mit den Schicksalen des Menschengeschlechts oder einzelner Individuen zusammenhängt, wie die Constellationen der Planeten, bedarf wohl keines weiteren Beweises; dass aber die Kometen auch keinen Einfluss auf den Gang der Erscheinungen in unserer Atmosphäre haben, dass sie namentlich nicht auf die Witterungsverhältnisse influiren, musste man einsehen, sobald man ihre kosmische Natur erkannt hatte.

Die meisten Kometen zeigen einen hellen rundlichen Kern, welcher von einer schwächer leuchtenden nebligen Hülle umgeben ist, die sich auf einer Seite, und zwar in der Regel auf der der Sonne abgewandten, in einen Schweif verlängert. Dieser Schweif erscheint uns manchmal unter einem Winkel von 60 bis 90, ja bis 100°, so dass er über einen bedeutenden Theil des Himmelsgewölbes wegzieht, wie man dies aus

Fig. 133.



Fig. 134.



Fig. 133 und Fig. 134 ersieht. Die letztere stellt den Kometen von 1618 nach einer Abbildung im Theatrum europaeum, die erstere den Kometen von 1843 nach einer im ersten Jahrgang der Illustrirten Zeitung befindlichen Abbildung dar, und zwar sammt der landschaftlichen Umgebung, wodurch man leicht einen Maassstab für die Grösse der Erscheinung erhält.

Fig. 135.



Der Kometenschweif ist bald gerade, bald mehr oder weniger gekrümmt, wie dies z. B. der schöne Komet von 1811 zeigt, welcher Fig. 135 dargestellt ist; fast immer aber erstreckt er sich vom Kopf aus nach der von der Sonne abgewendeten Seite hin.

Fig. 136.



Manchmal fehlt der Kern ganz, wie z. B. bei dem schönen Kometen, der im Jahre 1819 beobachtet wurde (Fig. 136).

Die Gestalt des Schweifes ist mannigfachen Variationen unterworfen, ja für einen und denselben Kometen sieht man, wie sie sich allmälig ändert. Man hat sogar Kometen beobachtet, welche mehrere Schweife zeigen; der Komet vom Jahre 1744 hatte deren sogar sechs, Fig. 137,

Fig. 137.

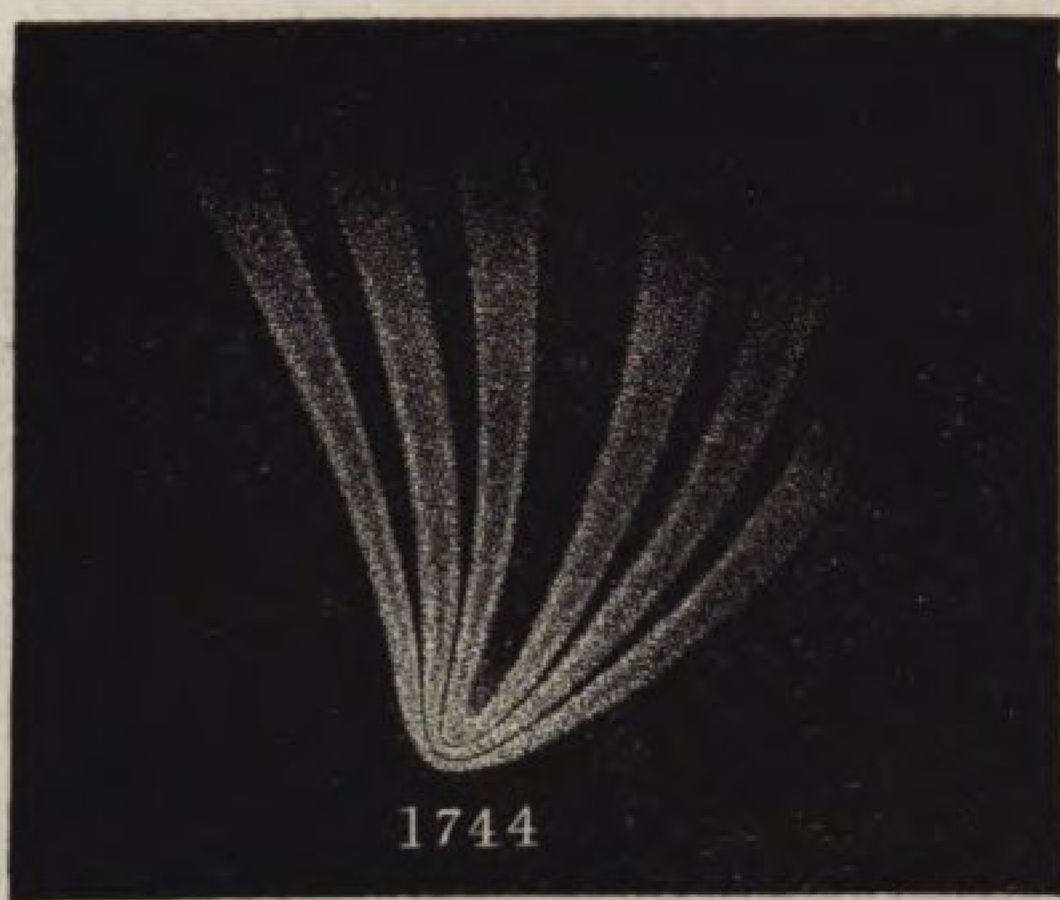


Fig. 138.



oder vielmehr sein Schweif erschien in sechs Theile gespalten, von denen jeder 4^0 breit und 30 bis 40^0 lang war. Bei dem sehr glänzenden Kometen von 1807, Fig. 138, theilte sich der Schweif in zwei Aeste.

Durch den Schweif der Kometen hindurch kann man die Fixsterne deutlich sehen, ja Bessel und Struve haben selbst durch die Kerne der Kometen hindurch noch Fixsterne beobachtet. Was den Ort der durch die Kometen hindurch gesehenen Sterne betrifft, so zeigt sich derselbe durchaus nicht merklich verändert, die Lichtstrahlen erleiden also, indem sie durch den Kometen hindurchgehen, keine Ablenkung durch Brechung, was darauf hindeutet, dass die Masse der Kometen nicht gasförmig sei, sondern aus einer gleichsam staubartigen Masse, aus discreten, durch leere Zwischenräume getrennten Theilchen bestehen muss.

84 **Scheinbare Bahn der Kometen.** Während die Planeten stets in der Nähe der Ekliptik beobachtet werden, entfernen sich die Kometen oft sehr weit von derselben, so dass sie manchmal in der Nähe des Polarsternes erscheinen. Während die Planetenbahnen nur wenig gegen die Sonnenbahn geneigt sind, stehen die Kometenbahnen oft beinahe rechtwinklig auf der Ekliptik. Der Komet vom Jahre 1618 erschien z. B. zuerst im Sternbild der Wage am 28. November, ungefähr in der Mitte zwischen dem Stern α und β, durchlief das Sternbild des Bootes und verschwand endlich am 18. Januar 1619 bei einer nördlichen Declination von 77^0 ungefähr auf der Linie, welche die Sterne α und β des grossen Bären mit dem Polarsterne verbindet.

Als der Kern dieses Kometen ungefähr bei ζ des Bootes stand, Fig. 139, erstreckte sich der Schweif, einer Zeichnung des Cysatus zu-

folge, bis in die linke Vordertatze, d. h. bis zu den Sternen ι und $\varkappa$ des grossen Bären.

Die Bahn des grossen Kometen von 1680 und 1681 macht einen kleinen Winkel mit der Ekliptik. Der Komet erschien in der letzten



Fig. 139.

Hälfte des November 1680 im Sternbild der Jungfrau. Am 27. November war seine geocentrische Länge 185°, seine südliche Breite 1°; bis zum 5. December war seine geocentrische Länge auf 236° und seine südliche Breite auf 2° 42′ gewachsen, er war also während dieser Zeit, in

welcher er in den Morgenstunden sichtbar war, ganz in der Nähe der Ekliptik geblieben; nach dem 7. December verschwand er in den Strahlen der Sonne, um am 22. December östlich von der Sonne wieder zu erscheinen. An diesem Tage war die geocentrische Länge des Kerns ungefähr 277°, seine nördliche Breite aber 7,5°. Er durchlief nun die Sternbilder des Adlers, des Delphins, des Pegasus, der Andromeda, des Triangels, und verschwand am 18. März 1681 in der Nähe des Sternes ζ des Perseus. Am 4. Februar war seine geocentrische Länge 39° bei einer nördlichen Breite von etwas über 19°. Man kann nach diesen Angaben die Bahn des fraglichen Kometen auf den Sternkarten Tab. III. und Tab. IV. verfolgen.

85 **Der Donati'sche Komet.** Im Herbst 1858 erschien ein Komet, welcher, der schönste unter allen bis jetzt in diesem Jahrhundert sichtbar gewordenen, die wesentlichsten der in den beiden letzten Paragraphen besprochenen Eigenthümlichkeiten in ganz ausgezeichneter Weise zur Anschauung brachte. Wir wollen uns deshalb etwas näher mit demselben beschäftigen.

Am 2. Juni 1858 entdeckte Donati auf der Sternwarte zu Florenz einen teleskopischen Kometen, welcher am 10. September zuerst mit blossem Auge sichtbar wurde und welcher nach seinem ersten Beobachter den Namen des Donati'schen Kometen führt.

In Fig. 140 ist die scheinbare Bahn des Donati'schen Kometen vom 12. September bis zum 14. October eingetragen. Der Kopf desselben durchlief, nachdem er das Sternbild des grossen Bären (von welchem unsere Karte nur ein kleines Stück enthält) verlassen hatte, die Gränzlinie zwischen dem Sternbild der Jagdhunde und dem des Haares der Berenice; trat dann in das Sternbild des Bootes ein und gelangte endlich durch das südwestliche Eck der Schlange in das Sternbild des Scorpions.

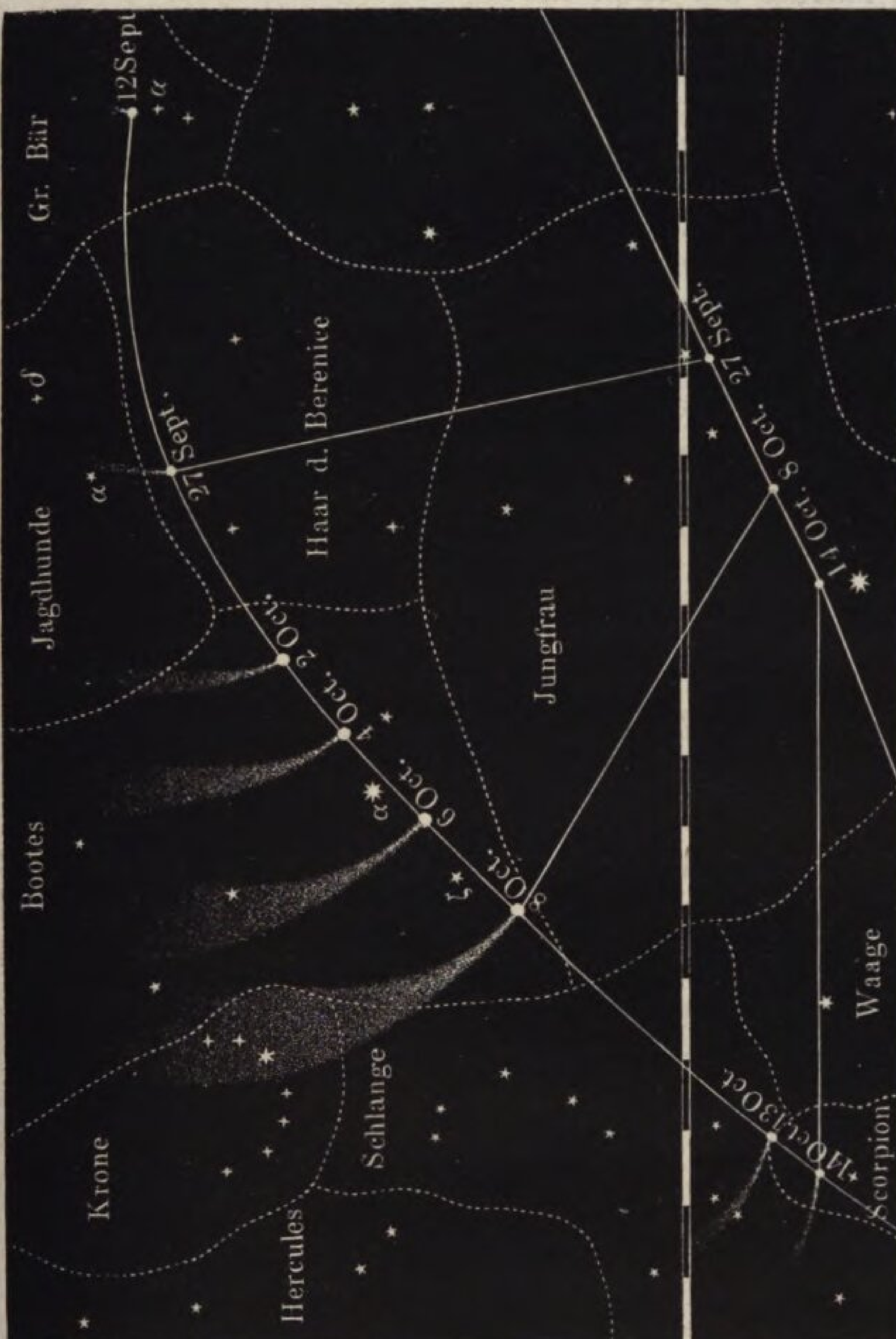
Selbst die kleinsten Sterne waren durch den Schweif des Kometen sichtbar. Die grösste Lichtstärke zeigten Kern und Schweif in den letzten Tagen des September und den ersten des October. Seine grösste Länge erreichte der Schweif am 6., 7. und 8. October.

In unserer Figur ist der Schweif nach Lage und Grösse für mehrere Beobachtungsabende möglichst genau eingetragen; auf demselben Kärtchen findet man aber auch ein Stück der Ekliptik, auf welchem der Stand der Sonne für den 27. September, den 8. und 15. October bezeichnet ist. Verbindet man diese Sonnenörter mit den gleichzeitigen Kometenörtern durch gerade Linien, so findet man, dass in der That der Schweif des Kometen stets von der Sonne abgewendet war.

Der Schweif des Donati'schen Kometen erschien gegen den Kopf hin weit mehr zugespitzt, als es die Abbildungen früherer Kometen zeigen. Er machte namentlich vom 27. September bis zum 4. October durchaus den Eindruck einer niederfallenden Rakete, wie dies auch möglichst treu

das landschaftliche Bild des Kometen vom 30. September auf Tab. XIII a. anschaulich macht, welches auch die Constellation des Kometen zum Sternbild des grossen Bären richtig wiedergiebt.

Fig. 140.



Der Schweif war nie gerade, sondern stets gekrümmt und zwar war seine convexe Wölbung nach der Seite gerichtet, gegen welche er fortschritt, gerade so also, als ob er durch ein widerstrebendes Medium, in welchem sich der Komet bewegt, zurückgebogen würde. Dabei war der Schweif auf der convexen Seite entschieden schärfer begränzt als auf der concaven, was sich namentlich am 6., 7. und 8. October deutlich zeigte.

Nach den Mittheilungen meines im Jahre 1861 als Mitglied der Burke'schen Expedition im Innern von Australien verstorbenen Freundes Ludwig Becker wurde zu Melbourne der Donati'sche Komet

am 11. October zum ersten Male beobachtet und blieb daselbst bis zum 12. November sichtbar. Am 19. October stand er ungefähr 5^0 östlich von Antares.

Durch ein ausgezeichnetes Fernrohr von 60 maliger Vergrösserung betrachtet, machte der Kopf des Kometen den Eindruck einer nicht scharf begränzten, in einer Nebelhülle schwebenden Kugel, wie dies in Fig. 2 Tab. XIa. möglichst treu wieder zu geben versucht worden ist.

Hinter der Kugel (d. h. nach der von der Sonne abgewendeten Seite hin) zeigte sich, wie dies bei den meisten Kometen der Fall ist, ein dunkler Raum, welcher in der Nähe des Kopfes wenigstens, den Schweif gleichsam in zwei Lichtstreifen theilte. In grösserer Entfernung vom Kopfe war dieser dunkle Zwischenraum nicht mehr zu erkennen, wie er denn überhaupt nirgends, selbst in der Nähe des Kopfes nicht, die volle Dunkelheit des umgebenden Himmels hatte.

Die richtige Deutung dieses dunklen Raumes dürfte wohl, wie auch allgemein angenommen wird, die sein, dass wenigstens das Kopfende des Kometenschweifes ein hohles Umdrehungsparaboloid einer nebelartigen Substanz sei.

Von den im nächsten Paragraphen zu besprechenden Ausströmungen konnte ich noch nichts wahrnehmen. Jedenfalls hat man es hier mit einer ungemein zarten Erscheinung zu thun, deren Verfolgung nicht allein gute Instrumente, sondern auch geübte Beobachter fordert.

86 **Die Ausströmungen der Kometen.** Schon Hevel machte die Bemerkung, dass der Kopf eines von ihm beobachteten Kometen in steter Veränderung begriffen sei. In ganz ausgezeichneter Weise zeigte sich diese Erscheinung, welche sich bei genauerer Untersuchung als eine vom Kern ausgehende, gegen die Sonne gerichtete Strömung erweist, an dem schönen Kometen vom Januar und Februar 1744. Der Komet von 1811 zeigte nichts der Art, wahrscheinlich weil er viel weiter von der Sonne entfernt blieb als der von 1744 und die sogleich näher zu besprechenden.

Im October 1858 entwickelte sich das Phänomen der Ausströmung am Donati'schen Kometen in ganz ausgezeichneter Weise und wurde der Gegenstand vielfacher genauer Beobachtungen und Messungen. Von den über diesen Gegenstand publicirten Schriften und Abbildungen sind mir eben nur die „astronomischen Beobachtungen über Kometen, von Julius Schmidt, Athen 1863" zugänglich, welchen ich das Folgende entnehme.

Am 30. September 1858 Abends 6 Uhr, also in der Dämmerung, als eben der Lichtbogen der Coma (d. h. der Gipfelbogen des Schweifes) sich zeigte, erschien der Kern des Kometen ganz verwaschen, ähnlich einer kleinen Wolke; nach und nach löste sich von dem Kerne gegen die Sonne hin eine ungefähr halbkugelförmige Nebelhülle ab, so dass um 7 Uhr 40 Min. der Kern seine frühere Schärfe und Kleinheit wieder er-

langt hatte und nun von einem schönen kreisförmigen Lichtbogen, von einer Hülle umgeben erschien, die nach aussen scharf begränzt und hell, rückwärts aber gegen den dunklen Raum hin geöffnet war. Ausserdem zeigte sich noch in dem allgemeinen Licht der Coma eine zweite äussere, der ersteren concentrische mattere Hülle.

Aehnliche Erscheinungen zeigten sich auch an den folgenden Abenden, und am 3. October begann Schmidt die regelmässigen Messungen des Phänomens.

So fand er z. B. am 4. October den scheinbaren Durchmesser des inneren Halos

um 5^h 36′	gleich 5,38″
„ 6 23	„ 10,63
„ 7 39	„ 16,45
„ 8 19	„ 19,8.

In 2 Stunden 43 Minuten war also der Halbmesser des inneren Halos fast auf das 4 fache gewachsen. Für den grösseren Halo ergaben sich folgende scheinbare Durchmesser

5^h 59′	gleich 32,16″
7 41	„ 39,73.

In Fig. 141 ist die Erscheinung dargestellt, wie sie am 4. October zu drei verschiedenen Stunden wahrgenommen wurde. Dabei ist noch zu bemerken, dass der Kern des Kometen mit dem Halo schon in heller Dämmerung sichtbar war, während man von der Coma noch nichts wahrnehmen konnte.

Fig. 141.



Das gleiche Schauspiel wiederholte sich an den folgenden Abenden. Von dem Kern lösten sich in bestimmten Intervallen Lichtringe ab, welche concentrisch sich erweiternd, lichtschwächer wurden, um endlich zu verschwinden. So hat Chacornac in Paris nach einander acht Ringe sich ablösen und allmälig verschwinden sehen.

Im Durchschnitt zeigte sich, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Lichtringe sich vom Kern entfernen, abnimmt, wenn ihr Halbmesser

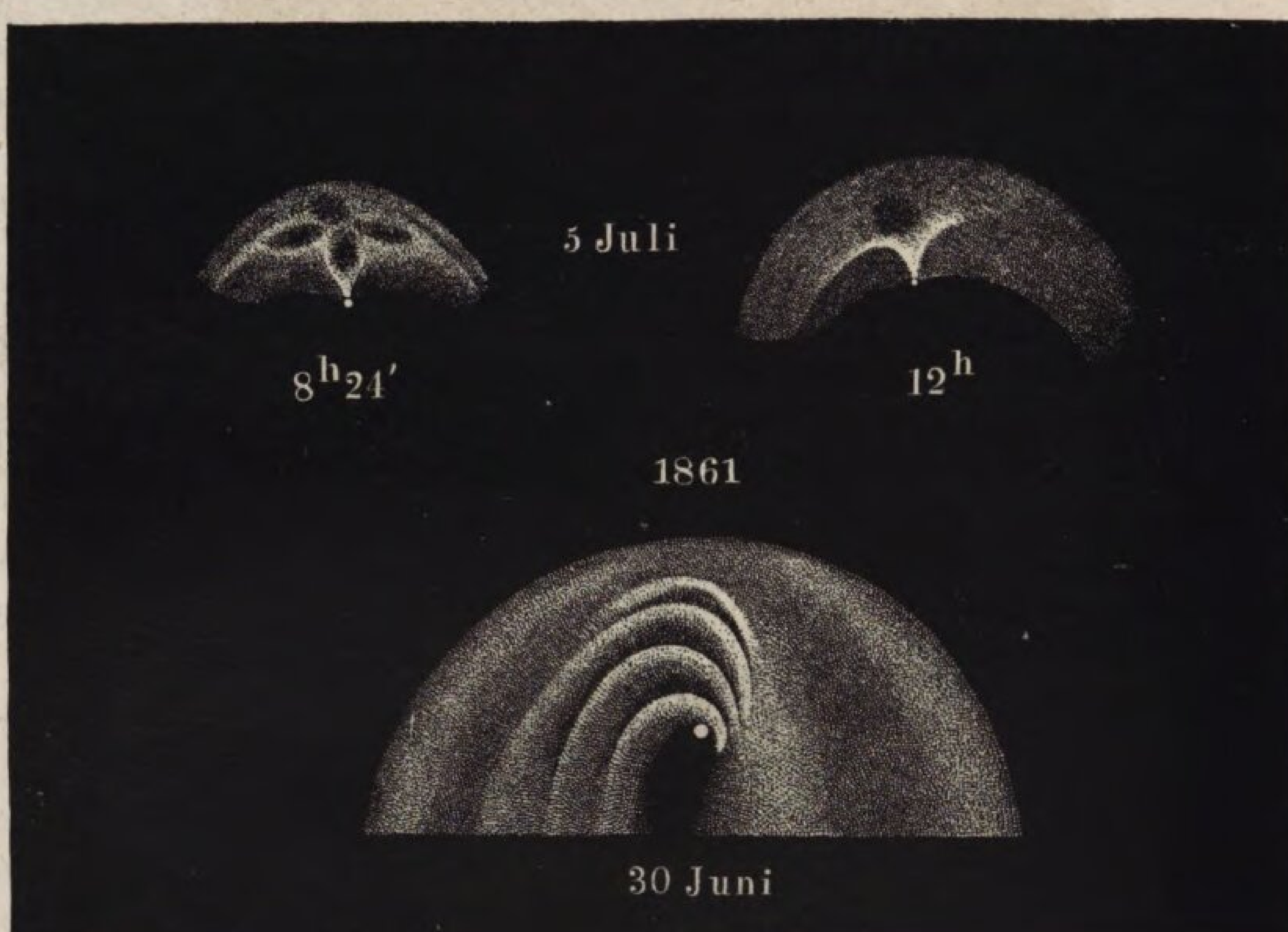
wächst, es ergab sich also im Durchschnitt diese Geschwindigkeit grösser für den inneren als für den äusseren Ring.

So ergab sich z. B. für die Geschwindigkeit g' des inneren und für die Geschwindigkeit g'' des äusseren Ringes:

	g'	g''
Am 4. October	321 Toisen	175 Toisen
„ 5. „	375 „	261 „
„ 7. „	303 „	181 „

Der wahre Durchmesser des Nucleus betrug nach Schmidt's Messungen zwischen dem 2. und 15. October 200 bis 287 geographische Meilen. Der Scheitelradius der Coma betrug am 10. September 5400 Meilen und nahm bis zum 16. October bis auf 2820 Meilen ab.

Fig. 142.



Am 30. Juni 1861 erschien am nördlichen Himmel ohne vorher bemerkt worden zu sein, ein Komet von enormen Dimensionen. Sein Kopf stand in der Nähe von o des grossen Bären (ungefähr an der Gränze dieses Sternbildes und des Luchses), sein über 100° langer Schweif ging über den Polarstern und γ lyrae bis gegen ξ aquilae hin. Rasch am Himmelsgewölbe sich fortbewegend nahm auch seine Grösse rasch ab, so dass er schon nach 8 bis 10 Tagen keine Aufsehen erregende Erscheinung mehr war, obgleich er für aufmerksame Beobachter noch einige Zeit lang mit blossem Auge sichtbar blieb.

Auch dieser Komet zeigte ausgezeichnete Strömungserscheinungen und fortwährende Veränderungen des Kopfes.

In Fig. 142 ist der mit dem Fernrohr beobachtete Kopf des Kometen für zwei verschiedene Abende dargestellt. Die unterste der drei

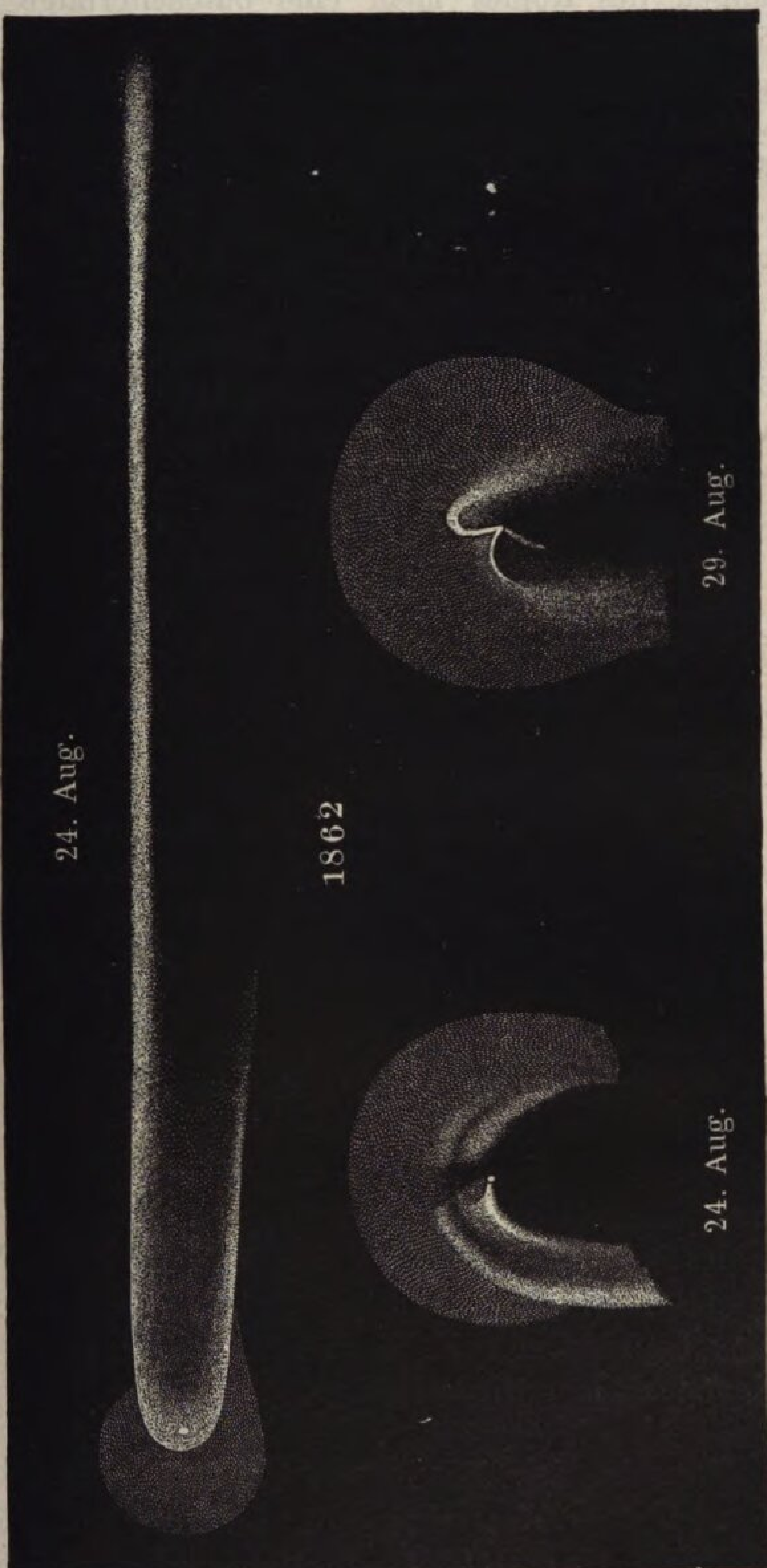


Fig. 143.

Abbildungen stellt denselben dar, wie er sich in der Nacht vom 30. Juni um 15 Uhr 32 Minuten zeigte. Anfangs zeigten sich nur 3, später 4 Lichtbogen, ganz analog mit den Sectoren des Donati'schen Kometen,

nur gingen hier die Lichthüllen in excentrischen Curven von dem Kerne aus. Auch hier bildeten sich die Lichtströmungen in kurzen Zeiten und konnten über eine gewisse Gränze hinaus nicht wachsen. Später nahmen die Ausströmungen des Kopfes mehr eine büschelförmige Gestalt an; diese gegen die Sonne hin ausgesendeten Büschel wuchsen oft in wenigen Stunden um das Doppelte ihrer ursprünglichen Länge, um alsdann undeutlich zu werden. Kurz, auch der Kopf dieses Kometen zeigte einen beständigen Wechsel der Gestalten.

In den beiden oberen Abbildungen der Fig. 142 ist die Erscheinung des Kometenkopfes dargestellt, wie sie Schmidt am 5. Juli in den beigeschriebenen Stunden beobachtete.

Im August 1862 erschien abermals ein mit blossem Auge sichtbarer Komet am nördlichen Himmel, dessen Schweiflänge zwar nur 20^0 erreichte und welcher keineswegs durch seine Helligkeit, wohl aber durch die Strömungserscheinungen seines Kopfes ausgezeichnet war. Besonders auffallend war an diesem Kometen die Gestalt der Coma, welche lange Zeit hindurch ihre selbständige kreisrunde Gestalt behielt, wobei sie links und rechts über die Seitenränder des Schweifes übergriff, wie man dies in Fig. 143 sieht, in welcher der Totalanblick des Kometen am 24. August und der Kopf dargestellt ist, wie er sich in der Nacht des 24. und des 29. Augusts zeigte.

Am 24. August betrug die scheinbare Länge des Schweifs ungefähr 16^0, der scheinbare Durchmesser des Scheitelradius der Coma aber 14,5 Minuten, woraus sich nach Schmidt's Berechnung der wahre Durchmesser desselben gleich 43 Erddurchmessern ergab. (Der Abstand des Kometenkopfes von der Erde betrug zu dieser Zeit ungefähr 0,4 Erdweiten.)

Was den Kern anbelangt, so erschien er höchstens unter einem Winkel von 1″, wonach sein wahrer Durchmesser nicht über 0,07 Erdhalbmesser oder 60 Meilen betragen haben kann.

Die im Allgemeinen gegen die Sonne gerichteten Ausströmungen des Kerns waren büschel- oder fächerartig, und die Lage des Fächers gegen die Axe des Schweifes war stets variirend. Was die Wandlungen des Kometenkopfes betrifft, so fand sie Schmidt einem periodischen Wechsel unterworfen, indem nach je drei Tagen ungefähr dieselbe Gestaltung des Kometenkopfes wiederkehrte.

87 **Wahre Gestalt der Kometenbahnen.** Lange Zeit suchte man vergebens nach einer, den scheinbaren Lauf der Kometen genügend erklärenden Theorie. Erst Dörfel, ein Prediger zu Plauen im Voigtlande, stellte, durch die Erscheinung des grossen Kometen von 1680 und 1681 veranlasst, die Meinung auf: die Bahn der Kometen sei eine Parabel, in deren Brennpunkte der Mittelpunkt der Sonne liege. Durch Newton's neues Weltsystem fand alsbald Dörfel's Meinung ihre Bestätigung und genauere Bestimmung.

Auf Tab. XII. ist die parabolische Bahn des Kometen von 1680 und 1681 dargestellt. Mit Hülfe dieser Figur wird man sich überzeugen können, dass die parabolische Hypothese den auf Seite 207 beschriebenen scheinbaren Lauf des Kometen genügend erklärt (natürlich nur in Beziehung auf die Veränderungen in der Länge; um die Veränderungen in der Breite nachzuweisen, müsste man noch die Neigung der parabolischen Bahn in Betracht ziehen, wozu, wenn es durch Zeichnung geschehen sollte, noch eine weitere Figur nöthig wäre).

Als der Komet am 17. December 1680 durch sein Perihelium ging, war er nur noch 128 000 Meilen von dem Mittelpunkte und nur 32 000 Meilen von der Oberfläche der Sonne entfernt. In dieser ungemeinen Nähe musste, von ihm aus gesehen, die Sonne als eine Scheibe von 96° Durchmesser erscheinen; gleichwohl ist er nach dem Durchgang durch das Perihelium ein Komet geblieben.

Nachdem man einmal die Bahnen bestimmen gelernt hatte, welche die Kometen in unserem Sonnensystem durchlaufen, ergab sich auch der wahre Ort, den sie an bestimmten Tagen im Raume einnahmen. So ersehen wir aus Tab. XII., dass der Komet von 1680 und 1681 am 22. December 1680 nahezu 4 Millionen Meilen von der Sonne und etwas über 10 Millionen Meilen von der Erde abstand (da die Entfernung der Erde von der Sonne in runder Zahl 20 Millionen Meilen beträgt).

Ferner war man nun auch im Stande, die wahre Länge der Kometenschweife zu bestimmen, und fand hier oft ganz enorme Dimensionen. Der Schweif des Kometen von 1618 erreichte eine Länge von 9 Millionen Meilen, der Schweif des Kometen von 1680 und 1681 muss mindestens 10 Millionen Meilen betragen haben. Der Komet von 1811 hatte einen Schweif von 12 bis 15 Millionen Meilen.

Die Kometen bleiben uns nur so lange sichtbar, als sie sich in der Nähe ihres Periheliums befinden und nicht durch die Strahlen der Sonne überglänzt werden. Die meisten verschwinden für uns, sobald sie sich über die Jupitersbahn hinaus von der Sonne entfernen.

Die Elemente, durch welche eine parabolische Kometenbahn bestimmt wird, sind folgende:

1) Die Länge des aufsteigenden Knotens. Durch sie ist die Lage der geraden Linie bestimmt, in welcher die Ebene der Erdbahn von der Ebene der Kometenbahn geschnitten wird.

2) Die Neigung der Kometenbahn, d. h. der Winkel, welchen die Ebene der Kometenbahn mit der Ebene der Erdbahn macht.

Durch diese beiden Elemente ist die Lage der Ebene der Kometenbahn, d. h. der Ebene der Parabel, bestimmt, in welcher sich der Komet bewegt. Den Brennpunkt dieser Parabel bildet bekanntlich die Sonne. Die Parabel selbst ist bestimmt:

3) durch die Länge des Perihels, d. h. durch den Winkel, welchen die auf die Ebene der Ekliptik projicirte Parabelaxe mit der von der Sonne nach dem Frühlingspunkte gezogenen Linie macht, und

4) durch den Abstand des Scheitels der Parabel von ihrem Brennpunkt, d. h. durch die Entfernung des Kometenkerns von dem Mittelpunkt der Sonne im Augenblick, in welchem er das Perihel passirt,

5) muss der Zeitpunkt bestimmt sein, in welchem der Komet das Perihel passirt und endlich

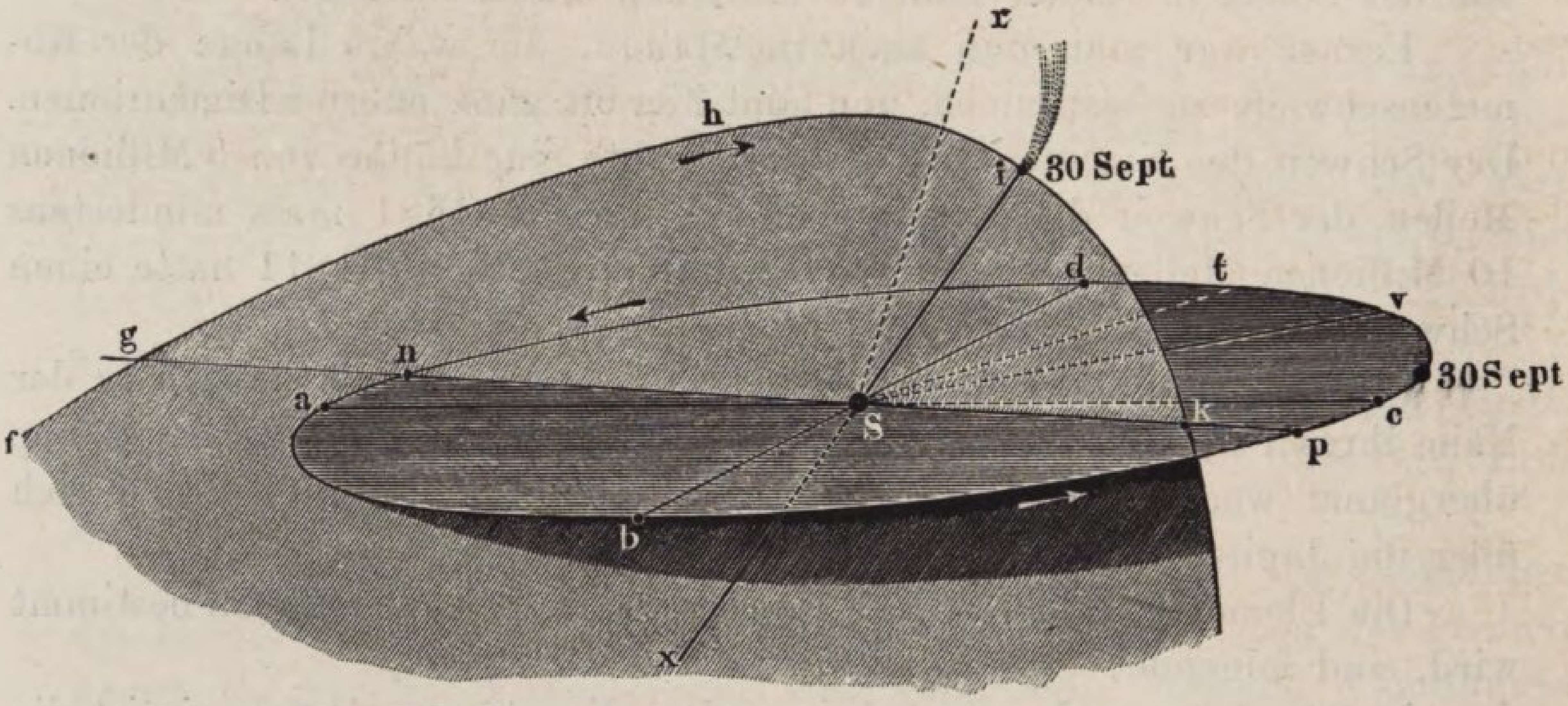
6) die Richtung seiner Bewegung, d. h. ob er recht- oder rückläufig ist.

Für den Donati'schen Kometen haben diese Elemente nach Löwy (Astr. Nachr. 49. Bd.) folgende Werthe:

Länge des aufsteigenden Knotens (☊) . .	165° 15′
Neigung der Bahn (i)	63° 3′
Länge des Perihels (p)	36° 16′
Durchgang durchs Perihel (T)	30. September.
Abstand des Perihels von der Sonne (q) . .	0,58 Erdweiten.
Bewegung rückläufig.	

Welches nach diesen Elementen die Lage der fraglichen Kometenbahn gegen die Erdbahn ist, mag durch Fig. 144 anschaulich gemacht werden.

Fig. 144.



S ist die Sonne, $abcd$ ist die perspectivisch verkürzt gezeichnete Erdbahn, während $fghikl$ die Bahn des Donati'schen Kometen ist.

Der besseren Anschaulichkeit wegen ist der von der Erdbahn eingeschlossene Flächenraum durch eine horizontale, die von der parabolischen Kometenbahn begränzte Fläche aber durch eine hellere schräge Schraffirung hervorgehoben.

Die Stelle, welche die Erde zur Zeit des Herbstäquinoctiums einnimmt, ist mit c bezeichnet, die Verlängerung der Linie Sc wird also das Himmelsgewölbe im Frühlingspunkte treffen.

Die Orte, an welchen sich die Erde zur Zeit des Wintersolstitiums, des Frühlingsäquinoctiums und des Sommersolstitiums befindet, sind der Reihe nach die mit *d*, *a* und *b* bezeichneten Punkte.

Denken wir uns von *c* aus in der Richtung der Bewegung der Erde auf der Erdbahn einen Bogen *cdn* von 165° 15′ abgemessen, so ist die durch *n* und *S* gelegte Gerade *np* die Knotenlinie der Bahn des Donati'schen Kometen.

St sei eine Linie, welche in der Ebene der Erdbahn liegend rechtwinklig auf *np* steht. Ist nun ferner *Sr* eine gleichfalls rechtwinklig auf *np* stehende Gerade, welche mit *St* einen Winkel von 63° 3′ macht, so ist eine durch *Sr* und *np* gelegte Ebene die Ebene unserer Kometenbahn.

Da der Donati'sche Komet sich rückläufig bewegt, so ging er also in der Richtung *f* über *g*, *h*, *i*, *k*, und *l*. In *g* ist der aufsteigende, in *k* der niedersteigende Knoten der Kometenbahn. Das Perihel in *i* passirte der Komet am 30. September 1858. Die Stelle, welche an diesem Tage die Erde einnahm, ist in unserer Figur durch einen schwarzen Punkt bezeichnet.

In Fig. 144 ist *Sv* die Projection des Perihel-Leitstrahls *Si* oder der Parabelaxe auf die Ebene der Erdbahn. Der Winkel *cSv* ist also die Länge des Perihels für den Donati'schen Kometen, deren Werth, wie oben bemerkt wurde, 36° 16′ beträgt.

Um auch dem weniger Geübten die gegenseitige Lage der Erdbahn und der Knotenbahn anschaulich zu machen, kann man das in Fig. 144 Dargestellte auch in Form eines Modells ausführen.

Die parabolischen Elemente des grossen Kometen von 1861 sind (Astr. Nachr. 56. Bd.) nach Pape:

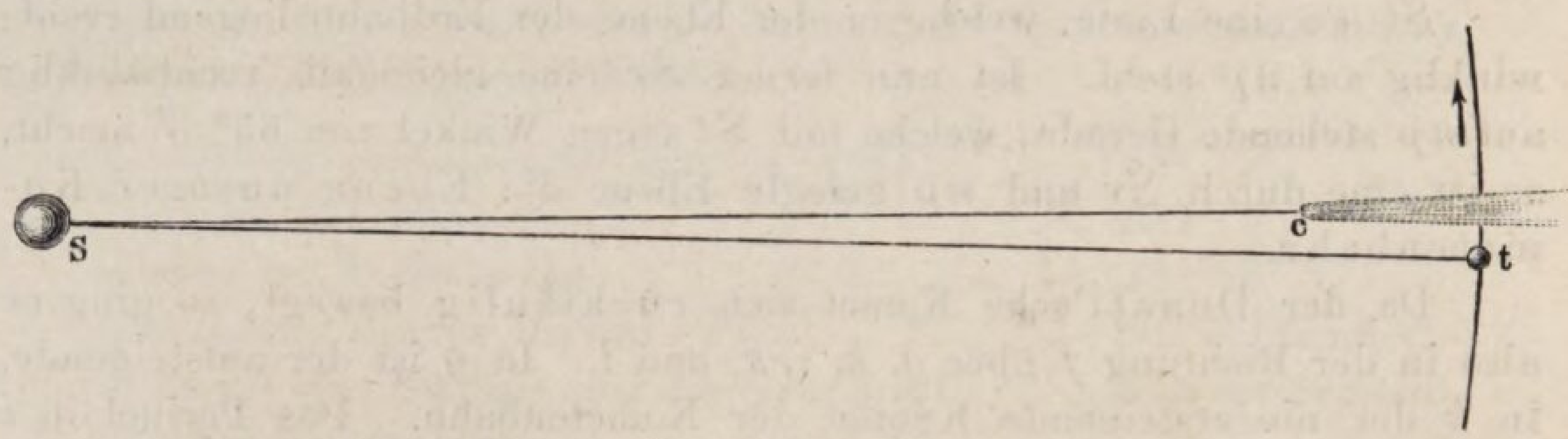
☊	278° 59′
i	85° 38′
p	249° 22′
T	11,76 Juni
q	0,839 Erdweiten

Bewegung rechtläufig.

Nach der Stellung des Kometen gegen die Sonne und Erde konnte man vermuthen, dass die Erde am 28. oder 29. Juni durch den Schweif des Kometen gegangen sei. Nach den Rechnungen von Pape war dies jedoch nicht der Fall. Der Komet ging am 28. Juni durch den aufsteigenden Knoten; die heliocentrische Länge des Kometenkerns war zu dieser Zeit 278° 59′, sein Abstand von der Sonne 0,884 Erdweiten. Die gleichzeitige heliocentrische Länge der Erde war 277°. Die gegenseitige Position von Sonne, Komet und Erde war also der Art, wie es Fig. 145 (a. f. S.) darstellt. Vorausgesetzt, dass die Axe des Kometenschweifes in der Verlängerung des radius vector zusammengefallen wäre, so hätte der kleinste Abstand der Erde von der Kometen-

axe immer noch 0,035 Erdweiten betragen. Aus späteren Beobachtungen des Schweifs ergab sich aber, dass er an derjenigen Stelle, wo er die Erdbahn schnitt, nur einen Durchmesser von 0,0076 Erdweiten hatte, die Erde konnte mithin nicht in den Schweif eintreten, wenn sie auch ziemlich nahe an demselben vorbeiging.

Fig. 145.



Die Bahn eines Kometen kann möglicherweise eine Hyperbel, oder eine Parabel, oder endlich eine Ellipse sein. Bewegt sich der Komet in einer der beiden erstgenannten Curven, so kann er uns überhaupt nur einmal erscheinen; er kommt gewissermaassen aus unendlicher Ferne, um nach einiger Zeit unser Sonnensystem auf immer wieder zu verlassen. Ein Komet kann nur dann wieder in die Sonnennähe zurückkehren, wenn seine Bahn eine elliptische ist.

Der Umstand, dass der beobachtete Lauf der Kometen sich in der Regel sehr gut durch eine parabolische Bahn darstellen lässt, schliesst die Möglichkeit nicht aus, dass er sich wirklich in einer lang gestreckten Ellipse bewegt; denn eine Parabel und eine sehr stark excentrische Ellipse, welche einen gemeinschaftlichen Brennpunkt *f*, Fig. 146, und einen gemeinschaftlichen Gipfel *b* haben, fallen in der Nähe dieses Gipfels, welcher dem Perihelium entspricht, sehr nahe zusammen. So kann in der That das Bogenstück *abc*, Fig. 146, ebenso gut ein Stück der Parabel *habck* als auch ein Stück der Ellipse *abcd* sein. Die Kometen sind uns aber gerade nur in der Nähe des Periheliums sichtbar.

In den meisten Fällen genügt die parabolische Bahn den Beobachtungen und man behält sie dann bei, weil ihre Berechnung ungleich einfacher ist als die einer elliptischen Bahn.

Berechnet man aus den beobachteten Kometenorten eine elliptische Bahn, so wird man begreiflicherweise in Betreff einiger Bahnelemente keine grosse Genauigkeit zu erwarten haben; namentlich ist dies für die Länge der grossen Axe und die Umlaufszeit der Fall.

Encke hat nach den zuverlässigsten Beobachtungen des Kometen von 1680 und 1681 eine elliptische Bahn desselben berechnet. Dieser Rechnung zufolge würde er im Aphelium ungefähr 853 Erdweiten, also 17000 Millionen Meilen weit von der Sonne entfernt sein. Sein Abstand

im Aphelium wäre also 140 000 mal grösser als der im Perihelium. Als wahrscheinliche Umlaufszeit ergab sich ungefähr 8800 Jahre.

Mag nun die Kometenbahn eine parabolische oder eine elliptische sein, so findet auch hier das zweite Kepler'sche Gesetz seine volle Anwendung, d. h. die Geschwindigkeit des Kometen in seiner Bahn ist stets eine solche, dass der von der Sonne zum Kometen gezogene Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume zurücklegt. Die Geschwindigkeit des Kometen ist also am grössten, während er das Perihelium passirt.

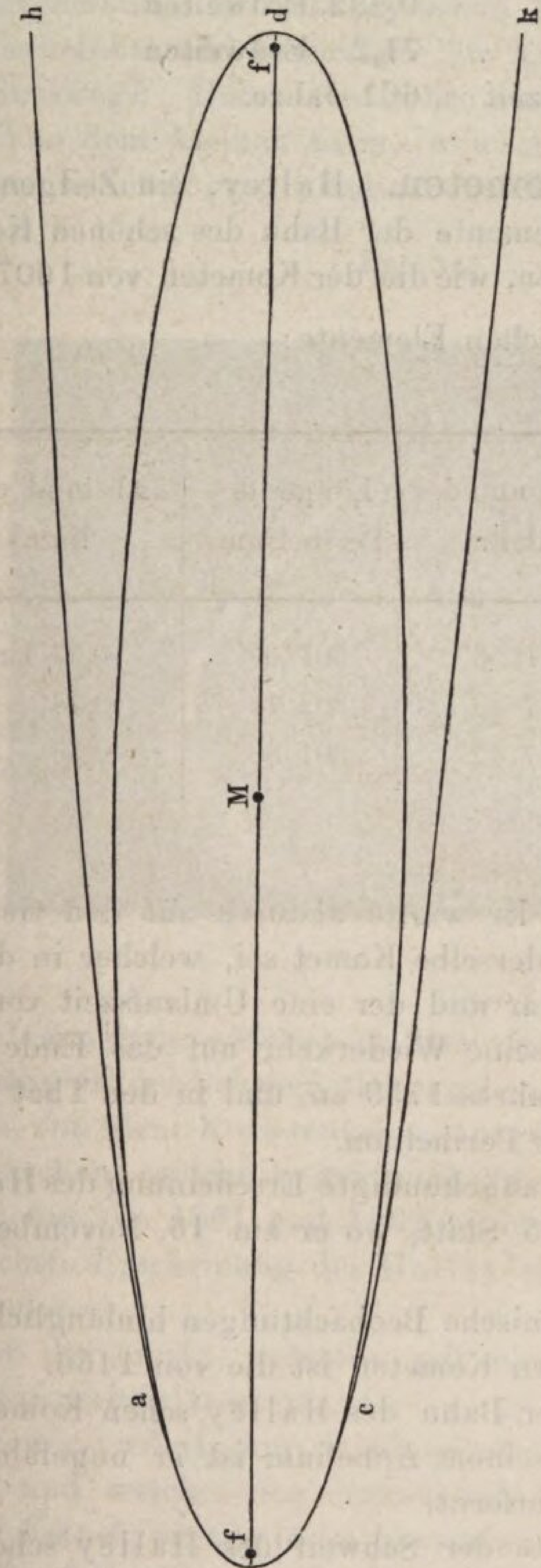


Fig. 146.

Für den Kometen von 1680 und 1681 ergiebt sich aus Encke's Rechnungen, dass er im Perihelium 53 Meilen, im Aphelium aber nur 10 Fuss in der Secunde zurücklegt. Im Aphelium ist also seine Geschwindigkeit ungefähr 116600 mal geringer als im Perihelium.

Nach den Berechnungen von Bruhns sind die elliptischen Elemente des Donati'schen Kometen

☊ 165^0 19′
i 63^0 1,7′
p 36^0 13′
q 0,482 Erdweiten
Halbe grosse Axe (a) 164 Erdweiten
Umlaufszeit 2101,6 Jahre.

Auwers berechnete die elliptischen Elemente des Kometen II von 1861 wie folgt:

☊	278° 58′
i	85° 29′
p	249° 7′
T	11,5 Juni
q	0,822 Erdweiten
a	71,2 Erdweiten
Umlaufszeit	601 Jahre.

88 **Wiederkehrende Kometen.** Halley, ein Zeitgenosse Newton's, bemerkte, dass die Elemente der Bahn des schönen Kometen von 1682 fast genau dieselben seien, wie die der Kometen von 1607 und 1531.

Folgendes sind die fraglichen Elemente:

Komet von	Länge ☊.	Neigung der Bahn.	Länge des Periheliums.	Abstand des Periheliums von ☉.
1531	49° 25′	17° 56′	301° 39′	0,57 Erdweiten.
1607	50 21	17 2	302 16	0,58 „
1682	50 48	17 42	301 36	0,58 „

Alle drei waren rückläufig. Er wurde dadurch auf den Gedanken geleitet, dass es wohl ein und derselbe Komet sei, welcher in den drei genannten Jahren erschienen war und der eine Umlaufszeit von 75 bis 76 Jahren habe. Er kündigte seine Wiederkehr auf das Ende des Jahres 1758 oder den Anfang des Jahres 1759 an, und in der That ging er am 12. März 1759 wieder durchs Perihelium.

Eine abermalige, voraus angekündigte Erscheinung des Halley'schen Kometen fand im Jahre 1835 Statt, wo er am 16. November das Perihelium passirte.

Die erste durch astronomische Beobachtungen hinlänglich constatirte Erscheinung des Halley'schen Kometen ist die von 1456.

Die halbe grosse Axe der Bahn des Halley'schen Kometen beträgt ungefähr 19 Erdweiten; in seinem Aphelium ist er ungefähr 37,4 Erdweiten von dem der Sonne entfernt.

Im Jahre 1456 erreichte der Schweif des Halley'schen Kometen eine Länge von 60 Graden, und ebenso zeigte er im Jahre 1531 einen schönen Schweif. Im Jahre 1607 dagegen erschien er nicht besonders glänzend und namentlich war sein Schweif sehr klein, was wohl darin lag, dass er der Erde schon lange Zeit vor seinem Perihelium wieder verschwand. Im Jahre 1682 erschien er wieder mit starkem Glanze, obgleich er dem Kometen von 1680 nicht gleich kam.

Im Jahre 1759 konnte der Halley'sche Komet nur eine kurze Zeit mit blossem Auge gesehen werden. An Glanz stand er diesmal der Erscheinung von 1682 nach, aber nicht in Beziehung auf die Länge des Schweifes, welche bis auf 47° stieg.

Die Erscheinung des Halley'schen Kometen im Jahre 1835 war ziemlich unscheinbar und befriedigte die Erwartungen des grösseren Publicums keineswegs. Durch Fernrohre gesehen, bot er den Anblick Figur 147. Von dem kleinen Kern, welcher kaum 30 Meilen im Durchmesser haben konnte, ging nämlich eine fächerartige, gegen die Sonne

Fig. 147.



gerichtete Flamme aus, welche sich aber zu beiden Seiten zurückkrümmte und so allmälig in den Schweif überzugehen schien. Bessel war geneigt, dies als eine von dem Kometenkerne ausgehende Strömung einer hellen Materie anzusehen, welche später auch am Donati'schen Kometen und an den Kometen von 1861 und 1862 beobachtet wurde.

Die nächste Erscheinung des Halley'schen Kometen wird im Jahre 1911 stattfinden.

Dies ist der einzige grössere, mit blossem Auge sichtbare Komet, dessen Umlaufsperiode bekannt ist.

Ein zweiter, jedoch nur teleskopischer Komet, dessen Umlaufszeit bekannt ist und welcher den Namen seines Berechners führt, ist der Encke'sche Komet; er wurde im November 1818 von Pons in Marseille entdeckt. Encke erkannte, als er nach den beobachteten Oertern eine Bahn berechnete, dass er mit den in den Jahren 1786, 1795 und 1805 beobachteten identisch sein müsse. Die Umlaufszeit dieses Kometen beträgt nur 1208 Tage. Sein kleinster Abstand von der Sonne beträgt 0,33, sein grösster 4,07 Erdweiten. Die Neigung seiner Bahn gegen die Ekliptik ist 13°; die Länge des aufsteigenden Knotens 335°, die Länge

des Periheliums 157⁰. Der Encke'sche Komet hat eine kugelförmige Gestalt ohne merklichen Schweif.

Dieser Encke'sche Komet ist besonders dadurch merkwürdig, dass seine Umlaufszeit allmälig abzunehmen scheint, indem die Umlaufszeit von 1825 bis 1852 (9 Umlaufsperioden) um 1 Tag abgenommen hat. Olbers suchte diese Erscheinung durch die Annahme eines die Himmelsräume erfüllenden, der Bewegung widerstehenden Mediums zu erklären, eine Annahme, welche übrigens bei keinem anderen Kometen Bestätigung gefunden hat.

Der Biela'sche Komet ist gleichfalls nicht mit blossem Auge sichtbar; im Fernrohre erscheint er als rundlicher Nebel, dessen Durchmesser im Jahre 1805 nach Olbers 10,6 Erdradien betrug. Im Perihelium ist er 0,94, im Aphelium 6,26 Erdweiten von der Sonne entfernt. Die Neigung seiner Bahn ist 13^0, die Länge des aufsteigenden Knotens 249^0, die Länge des Periheliums 108^0. Seine Umlaufszeit beträgt 6,7 Jahre.

Dieser Komet war bereits in den Jahren 1772 und 1805 beobachtet worden. Bei seinem Wiedererscheinen im Februar 1826 erkannte Biela seine Periodicität. Bei seinem Wiedererscheinen im December 1845 beobachtete zuerst Maury zu Washington, dass sich der Komet in zwei getheilt hatte. Bei ihrem Durchgang durchs Perihel am 11. Februar 1846 betrug der Abstand der beiden Kometen 41 900 Meilen. Beide Zwillingskometen erschienen als geschweifte Gestirne.

Die beiden Theilkometen kehrten der Rechnung gemäss im Herbst 1852 zum Perihel zurück, ihr Abstand war aber bis auf 352 000 geographische Meilen gewachsen. Im Jahre 1859 konnten sie wegen ihrer Lage zur Sonne nicht beobachtet werden. Eine sichtbare Wiederkehr war im Winter 1865/66 zu erwarten, trotz der eifrigsten auf mehreren Sternwarten angestellten Beobachtungen konnte aber das Doppelgestirn nicht wieder aufgefunden werden; der Biela'sche Komet scheint verschwunden zu sein.

Tab. XIII. zeigt die auf die Ebene der Ekliptik projicirten Bahnen des Encke'schen und Biela'schen Kometen und ein Stück der Bahn des Halley'schen. Das Aphel des letzteren liegt noch jenseits der Neptunsbahn.

Der Faye-Möller'sche Komet wurde im November 1843 von Faye als eine schweiflose Nebelmasse mit einem hellen Kern entdeckt und die Elemente seiner Bahn von Möller berechnet. Seine Wiederkehr wurde in den Jahren 1851, 1858 und zuletzt im Herbst 1865 beobachtet. Die Umlaufszeit des Faye-Möller'schen Kometen beträgt 7,4 Jahre.

Brorsen's Komet wurde im Februar 1846 als teleskopische kern- und schweiflose Nebelmasse entdeckt. Aus den gemachten Beobachtungen ergab sich eine Umlaufszeit von 5,5 Jahren. Bei seiner Rückkehr im Jahre 1851 wurde der Komet nicht aufgefunden; dagegen wurde er im Jahre 1857 von Bruhns beobachtet. Bei seiner letzten Rückkehr im Jahre 1868 wurde er von Secchi spectroskopisch untersucht; Näheres darüber später.

Ein von d'Arrest im Juni 1851 entdeckter kleiner Komet, dessen Bahn sich nach den Beobachtungen als elliptisch herausstellte, wurde bei seiner vorausberechneten Rückkehr im December 1857 abermals beobachtet.

Der Komet I. des Jahres 1858 wurde von Bruhns als ein periodischer Komet erkannt und seine Identität mit dem Kometen II. des Jahres 1790 nachgewiesen. Seit 1790 hat dieser Komet unbemerkt fünf Umläufe von 13,6 Jahren gemacht. Seine Wiederkehr ist im Sommer 1871 zu erwarten, er wird aber wohl schwerlich sichtbar sein, weil er sich zur Zeit des Perihels in zu grosser scheinbarer Nähe der Sonne befinden wird.

Winnecke entdeckte im März 1868 einen Kometen, dessen parabolische Elemente er mehr übereinstimmend mit denen des Kometen III. von 1819 fand, wonach derselbe ein wiederkehrender Komet von 5,5 Jahren Umlaufszeit ist. Bei seinem Erscheinen im Jahre 1868 wurde dieser Komet spectroskopisch untersucht.

Die Meteorite. Während Jupiter, der grösste Planet unseres 89
Sonnensystems, einen Durchmesser von 20000 Meilen hat, ist der Durchmesser des kleinsten bis jetzt entdeckten, der Clio, nicht ganz 4 Meilen, er ist also ungefähr 5000mal kleiner. Sicherlich aber können wir annehmen, dass Clio wirklich nicht der kleinste der um die Sonne kreisenden Weltkörper sei, wenn auch die kleineren eben ihrer geringen Dimension wegen für uns unsichtbar sind. Ein Weltkörper, welcher 5000mal kleiner ist als Clio, würde einen Durchmesser von kaum 1,5 Metern haben und in gleichem Verhältniss abermals um eine Stufe herabsteigend, würde man zu Körpern kommen, welche kaum einen Durchmesser von $1/2$ Millimeter haben. Solche kleinen und kleinsten Weltkörper können aber in ungeheurer Zahl um die Sonne kreisen, ohne dass wir von ihrer Existenz Kenntniss erhalten, wenn sie nicht etwa, in ihrem Lauf die Erdbahn kreuzend, unseren Planeten so nahe kommen, dass sie auf die Oberfläche derselben herabstürzen.

Dass aber von Zeit zu Zeit wirklich mehr oder minder grosse Gesteinsmassen, Meteorsteine, Meteorite oder Aërolithe, wie man sie nennt, vom Himmel auf die Erde herabfallen, ist eine durch unzweifelhafte Zeugnisse hinlänglich constatirte Thatsache.

Der älteste historisch sichere Meteorsteinfall ist wohl der, welcher zu Aegos Potamoi in Thracien im Jahre 476 v. Chr. stattfand. Nach Plinius soll der Stein zu seiner Zeit noch vorhanden gewesen sein und die Grösse eines Wagens gehabt haben.

Chinesische Berichte gedenken eines lange vor dem Beginn unserer Zeitrechnung unter heftigen Donnerschlägen aus einer Wolke herabgestürzten Aërolithen.

Die „Annales Fuldenses“ berichten von einem grossartigen Meteorsteinfall, welcher im Jahre 823 in Sachsen stattfand, durch welchen Menschen und Vieh erschlagen und 35 Dörfer in Brand gesteckt wurden.

Weitere in Europa vorgekommene bedeutende Meteorsteinfälle werden aus den Jahren 921, 1010, 1164, 1304 u. s. w. gemeldet.

Ein sehr berühmt gewordener, von Seb. Brandt in Versen besungener Steinfall fand am 7. November 1492 zu Ensisheim im Elsass statt; der ursprünglich 260 Pfund schwere Stein war halb Mannes tief in die Erde eingedrungen. Sein Fall war von einem furchtbaren Krachen (Klappf wie die Urkunde sagt) begleitet, welches bis Villingen und Luzern hin gehört worden sein soll. Nachdem viele Stücke davon abgeschlagen worden waren, wurde der Rest in die Kirche von Ensisheim gebracht, wo er sich noch befindet. Dieses Fragment ist von graubläulicher Farbe, fast schiefrig und leicht spaltbar. Es enthält Eisenkies und nickelhaltiges Eisen mit eingesprengten Olivinkörnern.

Bei dem ungeheuren zu Crema am 4. September 1511 vorgekommenen Meteorsteinfall sollen 1200 einzelne Steine herabgefallen sein, von denen einer 260, ein anderer 120 Pfund wog. Unter Blitz und Donner entfielen diese Gesteinsmassen einer dunklen Wolke.

In späteren Zeiten mehren sich die Nachrichten über Meteorsteinfälle derart, dass eine speciellere Besprechung derselben hier nicht wohl möglich ist. Klein hat in seinem „Sonnensystem“ (Braunschweig 1869) eine Zusammenstellung aller Meteorite gegeben, deren Fallzeit genau bekannt ist. Dieses mehr als 300 Meteorsteinfälle enthaltende Verzeichniss zählt deren

3	aus	dem	15.	Jahrhundert,
15	„	„	16.	„
23	„	„	17.	„
40	„	„	18.	„
216	„	„	19.	„

Dass die Anzahl der in unserem Jahrhundert bekannt gewordenen Meteorsteinfälle so sehr die aus früheren Jahrhunderten übertrifft, rührt sicherlich nur daher, dass man gegenwärtig derartigen Naturerscheinungen eine grössere Aufmerksamkeit zuwendet als früher.

90 **Ursprung der Meteorite.** Der Ursprung der Meteorite war bereits im Alterthum richtig erkannt worden. Aristoteles meinte freilich, es seien Steine, welche zufällig von heftigen Winden in die Höhe gewirbelt worden wären. Diogenes von Apollonia lehrte aber ganz richtig, dass sich zugleich mit den sichtbaren Sternen auch unsichtbare durch den Raum bewegen und unter Umständen auf die Erde herabstürzen. Paracelsus lässt die Meteorsteine aus der Sonne, Andere lassen sie aus dem Monde kommen. Montanari behauptete den kosmischen Ursprung der Aërolithen, für den sich auch Halley und Maskelyne aussprechen. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts begann man nach dem Vorgang der Pariser Akademie die Wirklichkeit der Meteorsteinfälle, trotz der vielen gut beglaubigten Nachrichten über solche, geradezu in Abrede zu stellen. So standen die Sachen, als

Chladni im Jahre 1794 in seiner berühmten Schrift „Ueber den Ursprung der von Pallas entdeckten Eisenmasse und einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen“ für die Existenz und den kosmischen Ursprung der Meteorsteine in die Schranken trat, ohne jedoch für die nächste Zeit die akademischen Vorurtheile erschüttern zu können. Fürchtete doch Klaproth noch im Jahre 1803 die Analyse eines Meteorsteines zu publiciren, „weil dadurch ein gelehrter Streit entstehen könnte, da man noch zu sehr geneigt sei, das Factum für ein Mährchen zu halten.“

Da ereignete sich am 26. April desselben Jahres der berühmte Meteorsteinfall zu l'Aigle, im Departement de l'Orne, zu dessen Untersuchung Biot von der Pariser Akademie entsendet wurde. Er bestätigte vollkommen alle darüber eingelaufenen Berichte. Am genannten Tage war zu l'Aigle zwischen 1 und 2 Uhr Nachmittags ein kleines fast unbewegliches Wölkchen beobachtet worden, aus welchem unter 5 bis 6 Minuten lang andauernden Explosionen Steine herabfielen, deren man 2000 bis 3000 auf einer gegen 2 Meilen langen elliptischen Fläche zerstreut fand. Der grösste davon wog 9 Kilogramm, der kleinste 8 Gramm.

Diesem Falle folgten bald andere, welche alle bis dahin über diesen Gegenstand gehegten Zweifel zerstreuten. So fielen am 15. März 1806 in der Nähe von Alais unter heftigen Explosionen zwei Steine, einer von 8 und einer von 4 Pfund.

Am 13. März 1807 fiel im Gouvernement Smolensk ein 140 Pfund schwerer Stein nieder und am 22. Mai 1808 fielen zu Stannern in Mähren 200 bis 300 Steine von $^1/_2$ Loth bis zu 11 Pfund. Am 13. November 1835 wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Bisweilen fällt in Begleitung von Meteorsteinen auch ein schwarzer oder rother Sand oder Staub nieder, während in anderen Fällen solcher meteorischer Staub auch ohne Meteorsteine vorkommt. Es ist wohl kaum zu bezweifeln, dass solche Staubmassen mit den Aërolithen gleicher Natur und gleichen Ursprungs sind.

Ein ohne Zweifel hierher gehöriges Beispiel wurde in den indischen Gewässern auf einem nordamerikanischen Schiffe beobachtet; am 14. November 1856, als sich dasselbe ungefähr 60 geographische Meilen südöstlich von Java befand, fiel ein Regen von feinen schwarzen Kügelchen auf das Verdeck des Schiffes nieder, die wie Bleischrot von der Sorte des Vogeldunstes aussahen. Der Durchmesser dieser Kügelchen betrug $^1/_3$ bis $^1/_{40}$ pariser Linie; die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass sie hohl waren und häufig ein kleines Loch hatten, welches die Oeffnung ihrer Höhlung bildete. Diese vom Magnet stark angezogenen Kügelchen bestanden fast ganz aus Eisenoxyduloxyd. Reichenbach (Pogg. Ann. CVI, 1859) hat es im höchsten Grade wahrscheinlich gemacht, dass diese Kügelchen nicht etwa, wie Ehrenberg meinte, aus javanischen Vulcanen stammen, sondern dass sie wirklich kosmischen Ursprungs seien.

So hat man denn die Heimath der Meteorite nach und nach immer weiter weg legen müssen. Während man ihnen anfangs irdischen Ursprung zuschrieb, liess man sie später aus dem Monde und der Sonne kommen, bis man erkannte, dass man es mit selbstständigen Körpern zu thun habe, welche in selbstständigen Bahnen den Weltraum durchfliegen.

Zunächst nahm man nun an, dass die Bahnen der Meteorite, welche hier und da die Erdbahn schneiden, planetarischer Natur seien, dass man es also hier mit wenig excentrischen Bahnen von verhältnissmässig kurzer Umlaufszeit zu thun habe, bis neuere Untersuchungen bewiesen haben, dass die Bahnen der Meteorite Parabeln oder doch sehr excentrische Ellipsen, dass sie also nicht den Bahnen der Planeten, sondern denen der Kometen zu vergleichen sind, weshalb denn auch die Besprechung der Meteorite hierher verlegt werden musste.

91 **Beschaffenheit der Meteorite.** Was nun die chemische Beschaffenheit der Meteorite betrifft, so ist vor allem die Thatsache zu constatiren, dass in denselben bis jetzt kein Element gefunden wurde, welches sich nicht auch sonst auf unserer Erde fände.

Gustav Rose theilt die Meteorite in zwei Hauptclassen ein, in Eisenmeteorite und Steinmeteorite. Die Eisenmeteorite bestehen entweder aus gediegenem Eisen, Meteoreisen, oder aus einer solchen Eisenmasse, welche verschiedene Silicate (häufig Olivinkörner) einschliesst, wie dies z. B. bei der Pallas'schen Meteormasse der Fall ist.

Die Steinmeteorite bestehen meistens aus einer, aus verschiedenen Silicaten (grossentheils Magnesiasilicaten) gebildeten trachytischen Grundmasse, in welche metallisches Eisen mehr oder weniger reichlich eingesprengt ist.

Nach Reichenbach's Schätzung fallen im Durchschnitt jährlich 4500 Meteorsteine auf die Erde; auf 100 Steinmeteorite kommt aber vielleicht nur 1 Eisenmeteorit; dagegen verwittern die Steinmeteorite sehr rasch, während das Meteoreisen, nachdem sich auf seiner Oberfläche eine schützende Oxydschicht gebildet hat, Jahrhunderte lang erhalten bleibt, so dass man wohl längst gefallene Massen von Meteoreisen, aber keine alten Meteorsteine findet.

Die frisch gefallenen Meteorite sind so heiss, dass man sich die Hände daran verbrannt hat, und sie sind mit einer feinen, glatten, schwarzen schlackigen Rinde überzogen, von deren Entstehung weiter unten die Rede sein wird.

Das Meteoreisen ist meistens stark nickelhaltig und als eine charakteristische Eigenschaft desselben betrachtet man die nach ihrem Entdecker genannten Widmanstätt'schen Figuren, welche hervortreten, wenn man angeschliffene und polirte Flächen von Meteoreisen mit Salpetersäure ätzt. Fig. 148 ist die Copie eines Selbstabdrucks von geätztem Meteoreisen von Tolucca in Mexico. Schon ein oberflächliches Betrachten dieser Figuren genügt, um daraus die krystallinische Structur des Meteoreisens zu erkennen.

In verschiedenen Ländern hat man Massen von gediegenem Eisen gefunden, welche mit notorisch gefallenen Eisenmeteoriten die grösste Aehnlichkeit haben, welche nicht allein die Widmanstätt'schen Figuren zeigen, sondern auch stark nickelhaltig sind. Da nun dergleichen Eisenmassen auch dem Gebirgssystem der Gegenden, in denen man sie gefunden hat, völlig fremd sind, so unterliegt es wohl keinem Zweifel, dass man es hier gleichfalls mit meteorischen Massen zu thun hat. Das erste derartige Stück, welches die Aufmerksamkeit der Gelehrten auf sich zog, war eine 1600 Pfund schwere Eisenmasse, welche Pallas im Jahre 1772 bei Krasnojarsk am Jenisei auf der Höhe eines Bergrückens fand.

Fig. 148.



Chladni war es, welcher sich zuerst für den meteorischen Ursprung der Pallas'schen Eisenmasse aussprach.

Weitere Eisenmassen von unzweifelhaft meteorischem Ursprung sind unter anderen: eine im Jahre 1814 auf einem granitischen Karpathengipfel bei Lénarto gefundene 194 Pfund schwere Masse; eine 12 Ctr. schwere Eisenmasse, welche am Eingange der Pfarrkirche von La Caille (Departement Var) liegend lange den Einwohnern des Dorfes als Sitz gedient hatte u. s. w.

Sehr reich an bedeutenden meteorischen Eisenmassen ist Amerika. In Mexico und Brasilien sind solche von 20, 140, 300 und 400 Centnern gefunden worden. Als Ross auf seiner Polarreise im Jahre 1818 mit den Eskimos der Baffinsbay zusammentraf, hatten sie Messer, welche, wie der Nickelgehalt bewies, aus Meteoreisen verfertigt waren. Sie erzählten, dass auf der Westküste von Grönland Blöcke gediegenen Eisens herumlägen.

In allen grösseren Mineraliencabinetten befinden sich jetzt auch Sammlungen von Meteoriten, deren bedeutendste ohne Zweifel die des

Hofmineralien-Cabinets in Wien ist, welche im Sommer 1869 168 Steinmeteorite und 91 Eisenmeteorite enthielt. Unter den Steinmeteoriten befindet sich unter anderen ein Bruchstück des Meteoriten von Ensisheim, mehrere Stücke von L'Aigle, mehrere von Stannern und ein 280 Kilogramm schwerer Meteorstein, welcher am 9. Juni 1866 zu Knyahinga in Ungarn gefallen war.

Unter den Meteoreisenmassen der Wiener Sammlung befinden sich drei, deren Fall constatirt ist: ein über 39 Kilogramm schweres Stück, welches am 26. Mai 1751 bei Agram in Croatien, ein über 2 Kilogramm schweres Stück, welches am 14. Juli 1847 bei Braunau in Böhmen und endlich ein kleines am 30. Juli 1855 in Nordamerika gefallenes Stück.

Nach der Wiener Meteoriten-Sammlung dürften wohl die bedeutendsten sein: die zu Tübingen, ein Geschenk des Herrn von Reichenbach, welcher sie zusammengebracht und eine Reihe schätzenswerther Aufsätze über Meteorsteine in Poggendorff's Annalen publicirt hat, und dann die Sammlungen zu Berlin, Paris und London.

92 **Feuerkugeln.** Eine zu allen Zeiten ziemlich häufig beobachtete Erscheinung sind Feuerkugeln, welche man mit mehr oder minder grosser Geschwindigkeit hoch durch die Lüfte hinziehen oder auf die Erde herabstürzen sieht. Die scheinbare Grösse dieser Feuerkugeln ist äusserst verschieden, denn man hat solche beobachtet, deren scheinbarer Durchmesser dem des Mondes gleich war bis herab zu solchen, deren scheinbare Grösse die der Venus und des Jupiter nicht übertraf, so dass man kaum mehr von Feuerkugeln reden kann. Bei noch mehr abnehmender scheinbarer Grösse geht das Phänomen der Feuerkugeln allmälig in das der Sternschnuppen über.

Sehr häufig ziehen die Feuerkugeln einen feurigen Schweif, ähnlich einer Rakete, nach sich. Während viele Feuerkugeln lautlos verlöschen, sieht man andere unter heftiger Explosion in Stücke zerspringen, und in Folge eines solchen Zerspringens hat man in vielen Fällen das Herabfallen von Meteorsteinen beobachtet, so dass es wohl keinem Zweifel unterliegt, dass Meteorsteine und Feuerkugeln zusammengehörige Erscheinungen sind, obgleich einerseits für die Mehrzahl der beobachteten Feuerkugeln ein sie begleitendes Niederfallen von Aërolithen nicht durch Zeugen nachgewiesen und andererseits zahlreiche Meteorsteinfälle (namentlich bei Tage) ohne vorhergegangene Lichterscheinung beobachtet wurden.

Unter den zahlreichen Berichten und Beschreibungen von Feuerkugeln (seit man überhaupt auf dergleichen Erscheinungen aufmerksamer ist, vergeht kein Jahr, in welchem nicht mindestens von einem halben Dutzend Feuerkugeln berichtet wird) mögen hier nur einige wenige als Beispiel aufgeführt werden.

Am 19. März 1718 wurde in England ein fast wie die Sonne

glänzendes Meteor beobachtet, welches so hell war, dass man den Mond fast nicht mehr sehen konnte und welches unter heftiger Detonation zerplatzte.

Die am 26. März 1751 bei Agram beobachtete und von einem Meteorsteinfall begleitete Feuerkugel hinterliess, wie Haidinger in alten Urkunden aufgezeichnet fand, einen zickzackförmigen Schweif, der noch länger als drei Stunden dem blossen Auge sichtbar geblieben sein soll.

Zu Siena erschien am 16. Juni 1794 eine Feuerkugel mit langem Schweif, welche mit einem unter heftiger Explosion erfolgten und berühmt gewordenen Meteorsteinfall endigte.

Am 5. Mai 1809 sah man zu Aberdeen um $12^1/_2$ Uhr Mittags bei vollem Sonnenschein und wolkenlosem Himmel einen Feuerball mit kurzem Schweif, welcher fünf Minuten nach seinem Erscheinen unter starkem Donner zersprang und einen dicken Rauch zurückliess.

Am 17. Juli 1835 sah man zu Mailand am nördlichen Himmel eine grosse, hellleuchtende Feuerkugel mit einem lang nachschleppenden Funkenschweife. Dieselbe Feuerkugel erschien zu Stuttgart und Heilbronn am südlichen Himmel. Wenige Minuten nach ihrem Verschwinden wurde sowohl zu Mailand als auch in Würtemberg ein Knall gehört.

Am 12. Februar 1836 Morgens um $6^1/_2$ Uhr wurde zu Cherbourg nach Osten hin eine hellleuchtende Feuerkugel wahrgenommen, welche eine deutliche Rotationsbewegung zeigte und deren scheinbarer Durchmesser dem des Mondes fast gleichkam. Die anfangs langsam sich bewegende Feuerkugel schien bald nach ihrem Erscheinen stillzustehen, um sich dann, einen weissen Schweif nach sich ziehend, pfeilschnell zu entfernen, und endlich in einer Entfernung von ungefähr 12 Meilen unter mehrfachem Knallen niederzufallen.

In der Nacht vom 4. auf den 5. Januar 1837 wurde bei Vichy, Vesoul und mehreren anderen Orten Frankreichs, sowie auch zu Basel, München und Hildburghausen eine von Nord nach Süd fliegende Feuerkugel beobachtet, welche einen langen Schweif nach sich zog. Aus der Zusammenstellung der an verschiedenen Orten gemachten Beobachtungen dieser Feuerkugel berechnete Petit ihren Durchmesser zu 2200 Metern, den in 1 Secunde durchlaufenen Weg zu 5200 Metern und ihren Abstand von der Oberfläche der Erde zu 34 Meilen.

Am 6. Juli 1850 wurde zu Bordeaux und zu Toulouse eine von Nord-Nord-West nach Süd-Süd-Ost ziehende Feuerkugel beobachtet. Bei ihrem Erscheinen war sie nach Petit's Rechnungen 32, bei ihrem Verlöschen noch 16 Meilen von der Erde entfernt. Ihren Durchmesser bestimmte er zu 215 Meter, ihre Geschwindigkeit zu $9^1/_2$ Meilen in der Secunde.

Am 11. Juni 1867 wurde eine Feuerkugel an vielen weit von einander entfernten Orten beobachtet, so z. B. zu Salzburg, Annecy (Savoyen), Genf, Bern, Basel, Frankfurt a. M., Bamberg, Baden-Baden, zu Paris und Umgegend u. s. w.

Nach Mittheilungen von Hagenbach erschien das Meteor zu Basel um 8^h $25'$ als eine Feuerkugel, welche sich raketenartig schnell erhob, in ihrem höchsten Punkte (45^0 von Nord nach West und $12^1/_2{}^0$ über dem Horizont) etwas zu verweilen schien und sich dann langsam, aber mit beschleunigter Geschwindigkeit dem Horizonte wieder näherte. Nach dem Verschwinden des Meteors blieb ein feuriger Streifen zurück, der nach und nach wolkenartig weiss wurde und welcher anfangs eine schraubenförmige Gestalt hatte. Erst nach Verlauf einer vollen Stunde, während welcher eine Verrückung von ungefähr 3^0 nach Westen stattgefunden hatte, war die Erscheinung vollständig verschwunden.

Aus der Zusammenstellung der Beobachtungen von Basel, Genf, Baden-Baden und Paris hat Hagenbach geschlossen, dass die Feuerkugel über einer 17 Meilen langen Strecke von Dünkirchen bis zu einem zwischen Cambrai und Avesnes gelegenen Punkte sich bewegt habe. Combinirt man die Angaben über die scheinbare Höhe des Meteors zu Basel mit denen von Paris, wo es in einer Höhe von $22^1/_3{}^0$ über dem Horizont erschien und in einer Höhe von 16^0 erlosch, so fand das Aufblitzen in einer Höhe von 7 Meilen Statt.

Im 12. Jahrgang der Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich findet man eine interessante Zusammenstellung verschiedener Beobachtungen dieses Meteors.

93 Höhe, Geschwindigkeit und Grösse der Feuerkugeln.

Wenn eine Feuerkugel gleichzeitig an zwei hinlänglich weit von einander entfernten Orten beobachtet, d. h. wenn für jeden der beiden Beobachtungsorte die Stelle des Himmelsgewölbes bestimmt worden ist, auf welche das Meteor projicirt erschien, so lässt sich aus diesen Angaben seine wahre Höhe über der Erdoberfläche berechnen. Da aber solche Meteore plötzlich und unvorhergesehen erscheinen und da sie auch rasch wieder verschwinden, so kann ihr scheinbarer Ort nicht durch Messung, sondern nur durch Schätzung bestimmt werden. Ferner kann von einer vollkommenen Gleichzeitigkeit der beiden Beobachtungen auch keine Rede sein und somit ist klar, dass die Bestimmungen der wahren Höhe des Meteors, wie solche bereits oben angeführt wurden, keinerlei Ansprüche auf Genauigkeit machen, so dass nur von einem groben Annähern an die Wahrheit die Rede sein kann. So viel ist aber doch auf solche Weise ermittelt worden, dass die Feuerkugeln öfters bis zu einer Höhe von 1 bis 2 Meilen herabsteigen. Von genaueren Bestimmungen der Höhe der Sternschnuppen wird später die Rede sein.

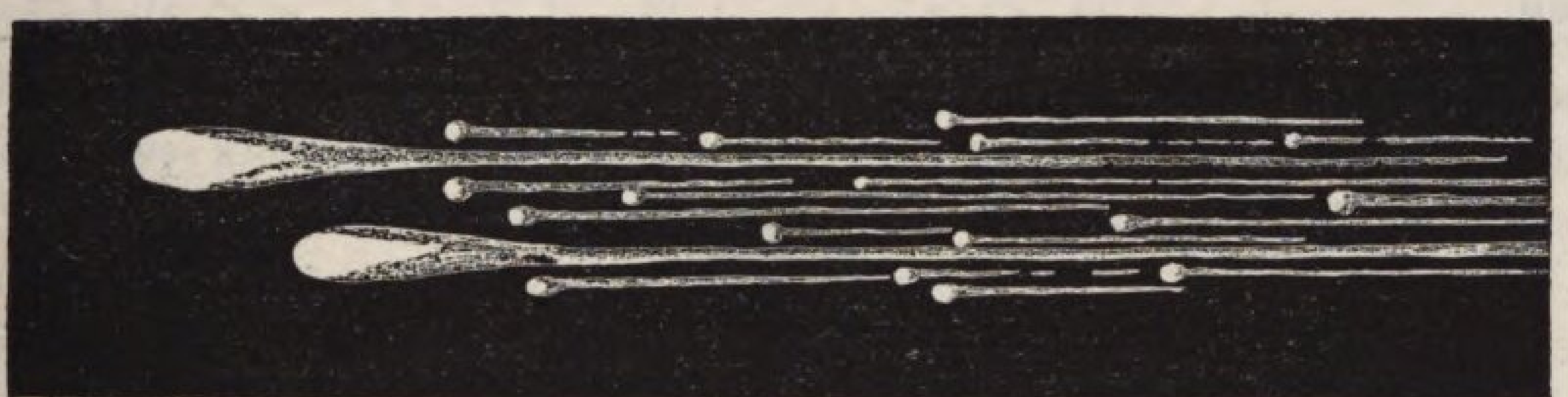
Was von der Bestimmung der wahren Höhe gesagt wurde, gilt auch für die Geschwindigkeit. Das Minimum der von Petit für eine Feuerkugel berechneten Geschwindigkeit beträgt 2700 (ungefähr $^1/_3$ Meile), das Maximum aber 76 000 Meter (ungefähr 10 Meilen) in der Secunde.

Noch weit unsicherer als die Bestimmungen von Höhe und Ge-

schwindigkeit sind die Bestimmungen der wahren Durchmesser der Feuerkugeln, welche Petit nach den ihm vorliegenden Angaben zu 3200 bis 3900 Meter berechnet hat. Diese Dimensionen übertreffen die Grössen der gefallenen Meteorsteinmassen so enorm, dass man sie nicht zusammenreimen könnte, wenn diese Differenz nicht dadurch ihre Erklärung fände, dass die scheinbaren Durchmesser der Feuerkugeln in Folge der Irradiation bedeutend vergrössert erscheinen.

Welch grossen Einfluss die Irradiation auf die Schätzung des scheinbaren Durchmessers von Feuerkugeln ausübt, hat Julius Schmidt gezeigt, welchem es gelang, zu Athen am 19. October 1863 Morgens früh um 2^h $55'$ eine Feuerkugel teleskopisch zu beobachten. Das Fernrohr, welches er hierbei benutzte, war ein Kometensucher von 8facher Vergrösserung und 4^0 (acht Monddurchmesser) Gesichtsfeld, welches auf einem besonders zu diesem Zweck construirten Stativ so aufgestellt war, dass es leicht in 2 bis 3 Secunden auf eine beliebige Gegend des Himmels gerichtet werden konnte.

Fig. 149.



Zu der genannten Zeit zeigte sich am südlichen Himmel ein langsam sich nach Westen bewegender Lichtpunkt von der Helligkeit eines Sternes 4. Grösse. Nach 2^s hatte er bereits die Helligkeit eines Sternes 2. Grösse und nach 4^s im grünen Lichte strahlend, die des Sirius erreicht. Alsbald wurde das Meteor immer nach Westen fortschreitend, so hell, dass die Sterne am Nachthimmel verschwanden und die Stadt Athen in grünem Lichte aufzulodern schien. In der 7. Secunde war der scheinbare Durchmesser des Meteors schon so gewachsen, dass ihn Schmidt mit Rücksicht auf die sicher sehr grosse Irradiation auf 10 bis 15 Bogenminuten schätzte.

Im Ganzen war das lautlos verlaufende Phänomen 21 Secunden sichtbar und die scheinbare Länge seiner Bahn betrug 80^0.

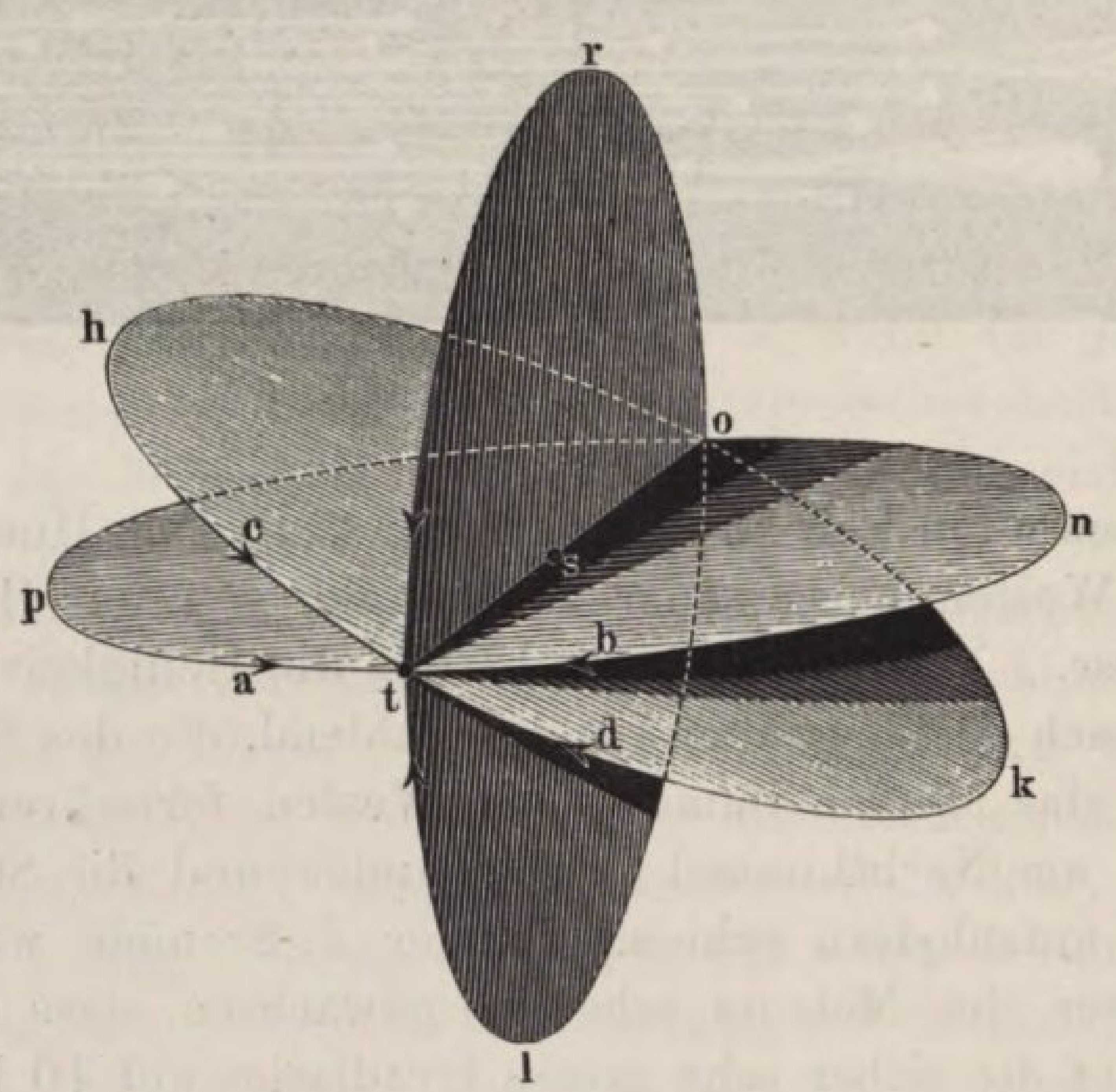
In der 7. Secunde richtete Schmidt das Fernrohr gegen das Meteor und konnte es in seiner langsamen Bewegung noch 14^s lang teleskopisch verfolgen. Es bestand aus zwei grünstrahlenden Stücken von tropfenförmiger Gestalt, welche feuerrothe, ganz gerade, unter sich parallele Schweife hinter sich herzogen. Den beiden grösseren Fragmenten folgte ein ganzer Schwarm kleinerer, gleichfalls grün strahlender, deren jedes

eine rothe Feuerlinie hinter sich herzog. In 3 bis 4 Grad Abstand von den beiden Kernen flossen alle Schweiflinien in eine rothgelbe rauchähnliche Masse zusammen.

Fig. 149 (a. v. S.) ist eine Copie der colorirten Abbildung des Meteors, welche man im 48. Bande der Sitzungsberichte der Wiener Akademie findet. Nach unmittelbarer Schätzung am Fernrohre betrug der scheinbare Durchmesser des grösseren voraneilenden Kernes ungefähr 50 Bogensecunden. Da nun aber auch die Beobachtung durch das Fernrohr noch mit einer namhaften Irradiation behaftet ist, so ist klar, dass der Durchmesser des Meteors bei der Beobachtung mit unbewaffnetem Auge mindestens 12 bis 18 Mal zu gross geschätzt worden ist.

94 **Kosmische Geschwindigkeit der Meteorite.** Untersuchen wir nun, wie die oben besprochenen, aus den Beobachtungen abgeleiteten Geschwindigkeiten, mit welchen die Feuerkugeln in die Atmosphäre eintreten, mit denjenigen Geschwindigkeiten übereinstimmen, welche ihnen zukommen müssen, wenn sie als kleine selbstständige Massen nach denselben Gesetzen sich um die Sonne bewegen wie die Planeten oder Kometen.

Fig. 150.



Für einen Punkt des Erdäquators ist die Geschwindigkeit, mit welcher er um die Erdaxe rotirt, 464 Meter in der Secunde, während die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn 30 400 Meter in der Secunde beträgt. Nehmen wir nun an, dass ein Meteorit in der Erdbahn selbst fortlaufe, aber in einer Richtung, welche der der Erde entgegengesetzt ist, so würden beide Körper (die Wirkung abgerechnet, welche die Anziehung der Erde auf die Meteorite ausübt) mit einer Geschwindigkeit von 60 800 Metern gegen einander fahren.

In Fig. 150 sei *s* die Sonne, *ptno* sei die perspectivisch dargestellte Erdbahn, in welcher die Erde *t* in der Richtung des kleinen Pfeils bei *a* rotirt, so wird sie also mit einem Meteoriten, der ihr in der gleichen Bahn in der Richtung des kleinen Pfeiles *b* entgegenläuft, mit einer relativen Geschwindigkeit von 60 800 Metern zusammenstossen, während für einen Meteorit, der sich in der gleichen Bahn wie die Erde und in gleicher Richtung rotirt, die relative Geschwindigkeit gleich Null wäre.

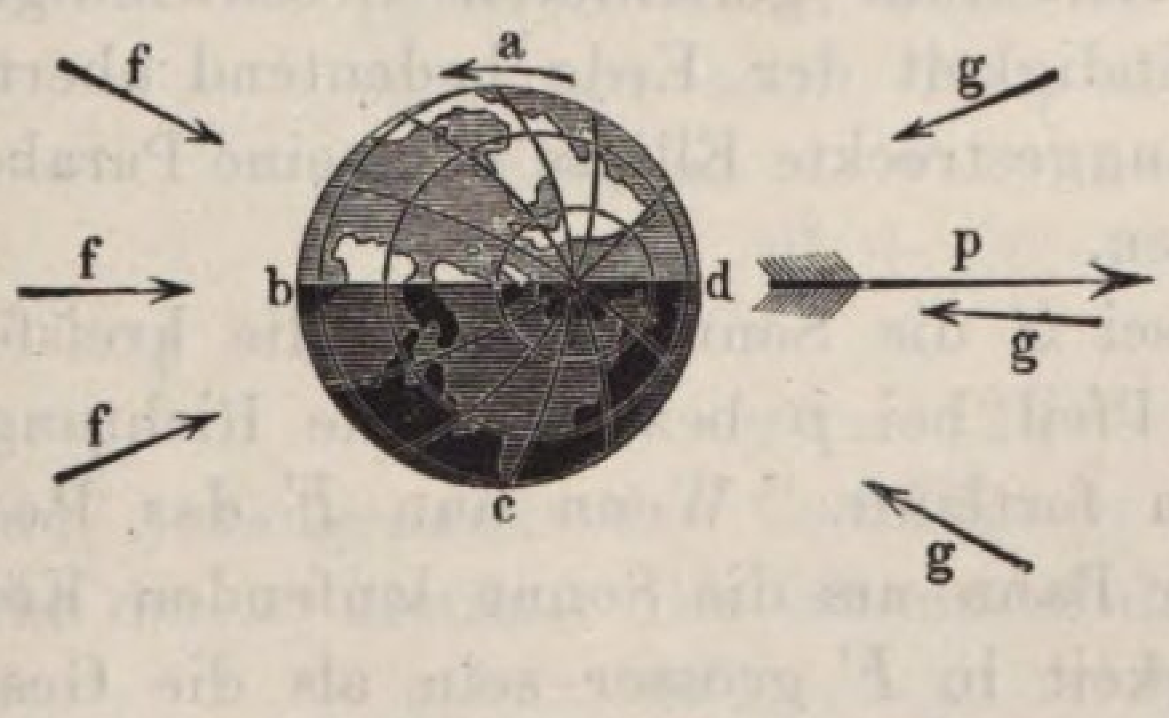
Nehmen wir dagegen an, dass der Meteorit in einem Kreise *tlor* um die Sonne liefe, welcher zwar gleichen Halbmesser mit der Erdbahn hat, dessen Ebene aber rechtwinklig auf der Erdbahn steht, so würde der Meteorit für den Fall des Zusammentreffens mit der Erde, die durch die Erde bewirkte Beschleunigung ungerechnet, mit einer Geschwindigkeit von 30 400 Metern auf dieselbe stürzen, welches auch die Richtung sein mag, mit welcher der Meteorit den Kreis *tlor* durchläuft.

Macht aber die der Erdbahn gleiche kreisförmige Bahn des Meteoriten mit der Ebene der Erdbahn einen Winkel zwischen 0 und 90 Grad, wie dies z. B. für den Kreis *tkoh* der Fall ist, so liegt die relative Geschwindigkeit, mit welcher der Meteorit auf die Erde stürzt, zwischen 0 und 30 400 Meter, wenn sich der Meteorit rechtläufig, also in der Richtung des kleinen Pfeiles *c* bewegt, zwischen 30 400 und 60 800, wenn die Richtung seiner Bewegung rückläufig ist, wie es der kleine Pfeil *d* andeutet.

So liessen sich also schon durch kreisförmige Bahnen der Meteorite die verschiedenen Geschwindigkeiten, mit welchen dieselben auf die Erde stürzen, bis zu einer Geschwindigkeit von 60 800 Meter in der Secunde erklären.

Wenn sich aber die Sache so verhielte, wie wir oben angenommen haben, wenn sich nämlich die die Erdbahn schneidenden Meteorite nahezu in kreisförmigen Bahnen mit planetarischer Geschwindigkeit bewegten, so würde die Erde der folgenden Betrachtung nach in den Abendstunden kaum von Feuerkugeln getroffen werden können, wie es doch thatsächlich der Fall ist.

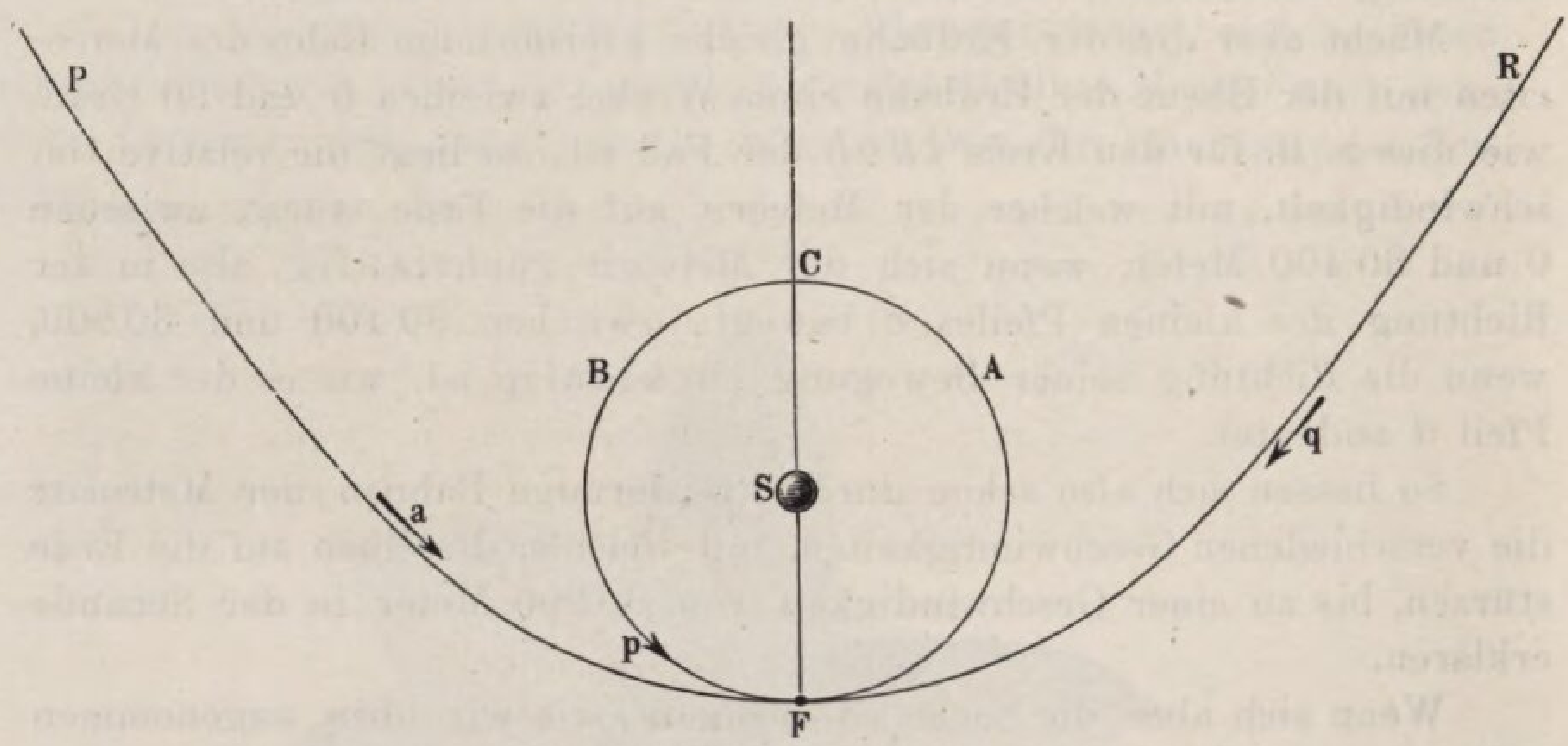
Fig. 151.



In Fig. 151 stelle *abcd* die Erdkugel dar, welche von der in der Richtung von *a* nach oben stehenden Sonne beschienen, in der Richtung

des kleinen Pfeiles bei *a* um ihre Axe rotirt und in der Richtung des gefiederten Pfeiles bei *p* mit einer Geschwindigkeit von 30 400 Metern in der Secunde fortschreitet. Die auf der Erdhälfte *a b c* gelegenen Orte und namentlich die um *b* herumliegenden, für welche es gerade Abend ist, werden vorzugsweise nur von solchen Meteoriten getroffen werden können, welche sich nahezu in der Richtung der kleinen Pfeile bei *f*, also fast in gleicher Richtung sich bewegen wie die Erde selbst. Die in der Richtung der Pfeile *f* sich bewegenden Meteorite würden aber die Erde gar nicht einholen können, wenn ihre Geschwindigkeit nicht grösser wäre als die der Erde, sie würden nicht als Feuerkugeln erscheinen können, wenn sie nicht mit bedeutender Geschwindigkeit in die Erdatmosphäre eindrängen, wenn also ihre absolute Geschwindigkeit nicht namhaft grösser wäre als 30 400 Meter in der Secunde.

Fig. 152.



Die Erscheinung von Feuerkugeln in den Abendstunden beweist also, dass die Meteorite die Erdbahn mit einer mehr als planetarischen Geschwindigkeit schneiden. Ein Himmelskörper aber, welcher, eben so weit von der Sonne entfernt wie die Erde mit einer nahezu rechtwinklig zum Leitstrahl gerichteten Geschwindigkeit behaftet ist, welche die Geschwindigkeit der Erde bedeutend übertrifft, muss nothwendig eine sehr langgestreckte Ellipse oder eine Parabel oder auch eine Hyperbel beschreiben.

In Fig. 152 sei S die Sonne, ABF die kreisförmige Bahn der Erde. Der kleine Pfeil bei *p* bezeichne die Richtung, in welcher die Erde in ihrer Bahn fortläuft. Wenn nun F das Perihel für irgend einen in elliptischer Bahn um die Sonne laufenden Körper ist, so wird dessen Geschwindigkeit in F grösser sein als die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, also grösser als 30 400 Meter in der Secunde. Je grösser aber die Geschwindigkeit ist, mit welcher der fragliche Körper

das Perihel bei F passirt, desto grösser wird die grosse Axe der Ellipse sein, welche er beschreibt.

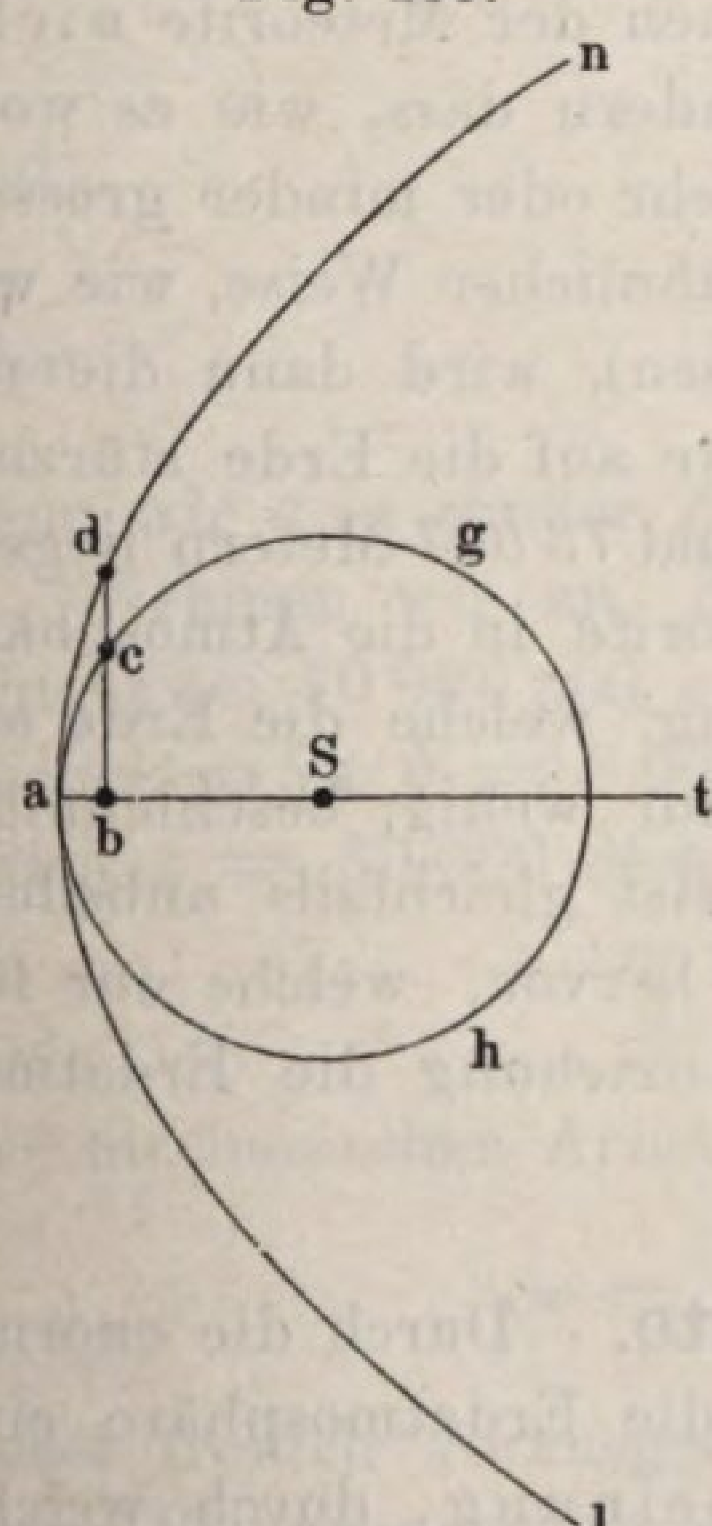
Diese grosse Axe wird unendlich, d. h. die Ellipse geht in eine Parabel über, wenn sich die Geschwindigkeit des fraglichen Körpers zu der der Erde verhält wie 1069 : 1512,2 (Mathem. Supplementband zu meinem Grundriss der Physik. 2. Aufl. S. 346) oder genauer wie $1 : \sqrt{2}$. Wenn sich also ein Körper in einer parabolischen Bahn um die Sonne bewegt, deren Periheldistanz gleich dem Halbmesser der Erdbahn ist, so wird dieser Körper das Perihel mit einer Geschwindigkeit passiren, welche

$$30400 \,.\, \sqrt{2} = 43\,107 \text{ Meter}$$

beträgt und dies ist das Maximum der Geschwindigkeit, mit welcher sich nach den Gravitationsgesetzen ein Weltkörper bewegen kann, wenn er sich in gleichem Abstand von der Sonne befindet wie die Erde, seine Bahn müsste denn eine hyperbolische sein.

Dass die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn sich wie 1 zu $\sqrt{2}$ zu der Geschwindigkeit verhält, mit welcher ein in parabolischer Bahn sich bewegender Weltkörper sein Perihel passirt, wenn die Periheldistanz gleich dem Abstand der Erde von der Sonne ist, lässt sich auch folgendermaassen beweisen:

Fig. 153.



Es sei agh die kreisförmige Bahn, welche die Erde um die Sonne beschreibt, lan aber sei die parabolische Bahn eines Meteoriten, welcher in a die Erdbahn tangirend in a zugleich ihr Perihel hat; ferner stelle ab den Raum dar, um welchen ein in a befindlicher Körper in der Zeiteinheit gegen die Sonne in S fallen würde, wenn er nicht mit einer bestimmten Tangentialgeschwindigkeit in a ankäme, so ist bc die rechtwinklig gegen at gerichtete Tangentialgeschwindigkeit, mit welcher ein Körper den Punkt a passiren muss, wenn er den Kreis agh und bd ist die Geschwindigkeit, mit welcher er den Punkt a passiren muss, wenn er die Parabel lan beschreiben soll. Nun aber ist die Gleichung des Kreises

$$y^2 + (x - r)^2 = r^2$$

oder

$$y^2 = (2r - x)\,x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

wenn man a zum Anfangspunkt der Coordinaten und die Linie at zur Abscissenaxe (Axe der x) nimmt. Die Gleichung der Parabel aber ist

$$y_1{}^2 = 4\,rx \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

wenn wir die Parabel-Ordinaten zum Unterschied von den Kreisordinaten mit y_1 bezeichnen.

So lange die Abscisse x (also ab) sehr klein, also auch verschwindend klein gegen r ist, geht die Gleichung 1) über in

$$y^2 = 2rx \qquad 3)$$

es ist also auch für hinlänglich kleine Werthe von x

$$y_1{}^2 = 2y^2$$
$$y_1 = y\sqrt{2}$$
$$bd = bc\sqrt{2}.$$

Es sei nun PFR (Fig. 152) die eine parabolische Bahn, deren Perihel-distanz SF gleich dem Halbmesser der Erdbahn ist; wenn die Ebene dieser Bahn mit der Ebene der Erdbahn zusammenfällt, so würde Erde und Meteorit für rückläufige Bewegung des letzteren (Pfeil bei b) in F mit einer relativen Geschwindigkeit in F zusammenstossen, welche gleich ist

$$30\,400 + 43\,107 = 73\,507 \text{ Metern}$$

in der Secunde, eine Geschwindigkeit, welche durch die anziehende Wirkung, welche die Erde auf den Meteorit ausübt, noch gesteigert wird, so dass das Maximum der Geschwindigkeit, welches Petit aus Beobachtungen abgeleitet hat, seine volle Erklärung findet.

Wenn sich der Meteorit in der Parabel PFR rechtläufig, also in der Richtung des kleinen Pfeiles a bewegt, so würde die relative Geschwindigkeit beim Zusammenstoss in F

$$43\,107 - 30\,400 = 12\,707 \text{ Meter sein.}$$

Für den Fall, dass die parabolischen Bahnen der Meteorite nicht mit der Ebene der Erdbahn zusammenfielen, sondern dass, wie es wohl stets der Fall ist, die Ebene der Parabel einen mehr oder minder grossen Winkel mit der Ebene der Erdbahn macht (in ähnlicher Weise, wie wir es oben für kreisförmige Bahnen betrachtet haben), wird dann die relative Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite auf die Erde stürzen, zwischen den beiden Gränzwerthen von 12 707 und 73 507 Metern liegen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite in die Atmosphäre eindringen, wird allerdings durch die Anziehung, welche die Erde auf sie ausübt, etwas, aber verhältnissmässig doch nur wenig, beschleunigt. Ebenso bringt die Anziehung der Erde eine meist gleichfalls unbedeutende Ablenkung der Meteorite von ihrer Bahn hervor, welche nur für diejenigen merklich wird, welche ohne diese Anziehung die Erdatmosphäre nur gestreift haben würden.

95 **Die Lichterscheinung der Meteorite.** Durch die enorme Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite in die Erdatmosphäre eindringen, erklärt sich nun auch die Lichterscheinung, durch welche sie uns sichtbar werden. Trotz der grossen Verdünnung der Luft in den höheren Regionen ist nämlich der Widerstand, welcher sich dem Eindringen der Meteorite in die Atmosphäre entgegenstellt, so bedeutend, dass dieselben alsbald ihre kosmische Geschwindigkeit verlieren. Der Verlust an lebendiger Kraft, welchen die Aërolithen auf diese Weise erleiden, ist aber nothwendig von einer entsprechenden Wärmeentwicke-

lung begleitet, welche vollkommen hinreichend ist, sie bis zum lebhaften Weissglühen zu erhitzen, wie sich aus folgender Betrachtung ergiebt.

Es sei m die Masse der Luft, welche der Meteorit in einer Secunde verdrängt, und v die mittlere Geschwindigkeit, mit welcher er sich während dieser Secunde bewegt, welche er also der verdrängten Luftmasse m mittheilen musste, so ist die Arbeitsleistung, welche dem Verlust des Meteoriten an lebendiger Kraft entspricht,

$$A = m \frac{v^2}{2g},$$

wenn g die beschleunigende Kraft der Schwere auf der Erde, also 9,8 Meter ist. Für m haben wir aber den in Kilogrammen ausgedrückten Werth

$$m = f \, . \, l \, . \, \delta,$$

wenn

- f den auf seiner Bahn rechtwinkligen Querschnitt des Projectils in Quadratdecimetern ausgedrückt,
- l den in Decimetern ausgedrückten Weg des Projectils in 1^s (also $l = 10\ v$) und
- δ die mittlere Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschicht

bezeichnet. Wir haben also

$$m = f \, \delta \, 10 \, . \, v$$

und

$$A = f \, \delta \, 10 \, v \frac{v^2}{2g}$$

oder

$$A = f \, \delta \, \frac{v^3}{2},$$

wenn wir g in runder Zahl gleich 10 setzen.

Nehmen wir an, die mittlere Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschicht sei 10 000 mal geringer als die Dichtigkeit der Luft am Meeresspiegel, so ist $\delta = 0{,}00000013$ (Wasser gleich 1 gesetzt). Nehmen wir ferner $v = 30\,000$ Meter und $f = 1$ Quadratdecimeter, so ergiebt sich

$$m = 0{,}039 \text{ Kilogramm und}$$
$$A = 1\,755\,000 \text{ Meterkilogramm.}$$

Der mechanischen Arbeit A entspricht aber die Entwickelung von

$$w = \frac{A}{424} = 3903 \text{ Wärmeeinheiten,}$$

wobei freilich vorausgesetzt ist, dass der Meteorstein rechtwinklig zu seiner Bewegungsrichtung durch eine ebene Fläche begränzt ist. Ist er dagegen nach dieser Seite hin durch eine sphärische oder conische Oberfläche begränzt, so ist der zu überwindende Luftwiderstand freilich kleiner als er oben angenommen wurde, dagegen wird aber auch der Meteorstein beim Eindringen in die Atmosphäre auf seinem 30 000 Meter langen Wege sehr bald zu Luftschichten kommen, welche bedeutend dichter sind, als es bei obiger Rechnung angenommen wurde.

Um nun zu berechnen, welche Temperaturerhöhung durch die oben bestimmte Wärmeentwickelung erzeugt wird, haben wir die Gleichung

$$MSt + mst = w$$

oder

$$t = \frac{w}{MS + ms},$$

wenn t die fragliche Temperaturerhöhung, M die Masse und S die specifische Wärme des Meteoriten, m die Masse und s die specifische Wärme der verdrängten Luftsäule bezeichnet, wobei noch ferner vorausgesetzt ist, dass die gesammte Wärmeentwickelung w nur der Temperaturerhöhung des Steins und der verdrängten Luftmasse zu gute kommt.

Ist der Meteorstein ein Silicat, so können wir für S nahezu den Werth 0,2 setzen. Den gleichen Werth dürfen wir ohne merklichen Fehler (da es sich hier ja ohnehin nicht um genaue Bestimmungen handeln kann) auch für s in Rechnung bringen. Ferner können wir annehmen, dass die Masse M des Meteorits bei 1 Quadratdecimeter Querschnitt ungefähr 3 Kilogramm beträgt. Setzen wir nun diese Werthe von M, S und s, und die oben berechneten Werthe für w und m in die letzte Gleichung, so kommt

$$t = 6398^0 \text{ C.}$$

Schon die Hälfte, ja der vierte Theil dieser Temperaturerhöhung würde hinreichen, den Meteorit in die hellste Weissgluth zu versetzen und ihn zu schmelzen.

Wenn die obigen Entwickelungen auch nicht entfernt Anspruch auf Genauigkeit machen, so genügen sie doch vollständig, um darzuthun, dass der Widerstand der Luft, welchen die mit planetarischer Geschwindigkeit in die Erdatmosphäre eindringenden Meteorite zu überwinden haben, im Stande ist sie bis zur Weissgluth zu erhitzen und dass man nicht nöthig hat, anzunehmen, dass die Meteorite mit einer Hülle brennbarer Gase umgeben seien, welche sich beim Eindringen in die sauerstoffhaltige Erdatmosphäre entzündet.

Aus den obigen Betrachtungen geht wenigstens mit Sicherheit hervor, dass die kleinen, mit grosser Geschwindigkeit in die Atmosphäre eintretenden Meteorite durch den Luftwiderstand zu einer Temperatur erhitzt werden, welche nicht allein ihre glänzende Erscheinung erklärt, sondern welche auch hinreicht, ihre völlige Zerstörung und Auflösung zu bewirken. Nur grössere und mit geringerer Geschwindigkeit ankommende Massen werden bis in die tieferen Schichten der Atmosphäre eindringen und hier entweder ebenfalls vollständig aufgelöst oder nur theilweise zerstört, so dass ihre Reste als Aërolithen auf die Erde fallen.

Die Atmosphäre bildet also eine Art von Panzer, durch welchen die Erde vor Meteorsteinfällen geschützt wird; ohne dieselben wären wir einem höchst verderblichen Bombardement ausgesetzt.

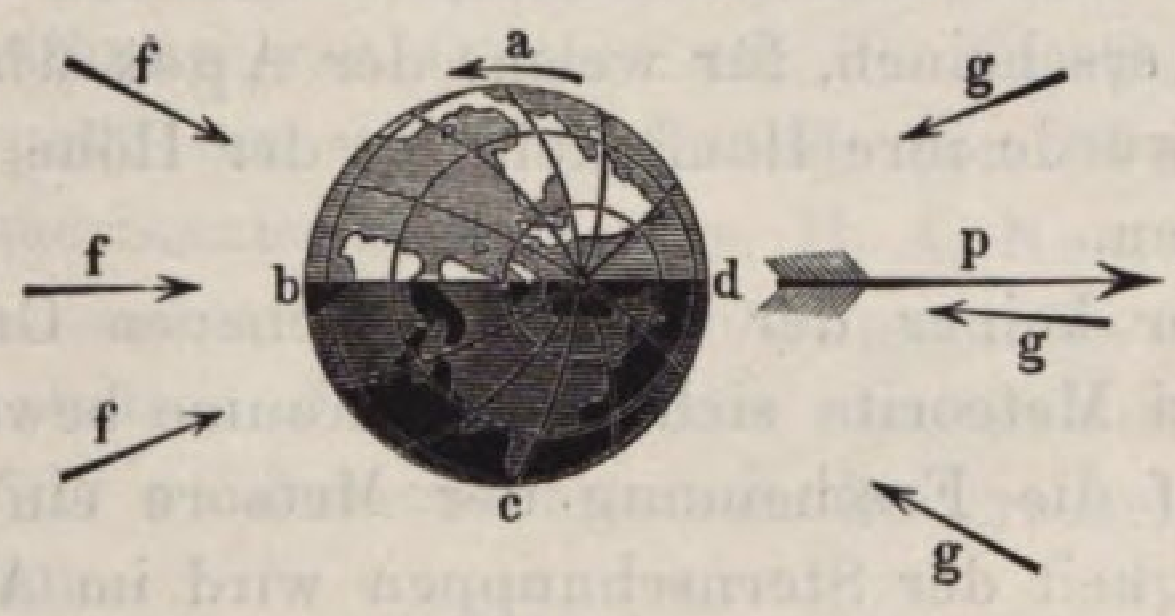
Der Luftwiderstand erklärt auch, zum Theil wenigstens, die Erscheinung, dass Feuerkugeln oft von ihrer geraden Bahn abbiegen und oft

sogar zurücklaufen; bei unregelmässiger Gestalt der Aërolithen kann ein solches Zurücklaufen in ähnlicher Weise erfolgen, wie bei dem unter dem Namen des Bumerangs bekannten Wurfinstrument der Australier.

Sternschnuppen. Die Sternschnuppen sind von den Feuer- 96
kugeln nur quantitativ, nicht qualitativ verschieden. Solche feurige Meteorite, welche uns grösser erscheinen als Jupiter und Venus, werden in der Regel als Feuerkugeln bezeichnet, während man die kleineren Sternschnuppen nennt. Die Sternschnuppen werden also vorzugsweise von solchen Meteoriten herrühren, deren gänzliche Auflösung schon in den höheren Regionen der Atmosphäre unter glänzender Lichterscheinung stattfindet. Es vergeht wohl kaum eine Nacht, in welcher man bei heiterem Himmel nicht mehrere Sternschnuppen beobachtet, und zwar erscheinen zur Mitternachtszeit in einer Stunde durchschnittlich 4 bis 5, nach anderen Beobachtern 6 bis 8 Sternschnuppen. Vor Mitternacht erscheinen sie etwas spärlicher, nach Mitternacht etwas häufiger und zwar am häufigsten gegen 3 Uhr Morgens.

Es erklärt sich dies, wie Schiaparelli zeigte, ganz einfach auf folgende Weise. In Fig. 154 stelle *abcd* die Erdkugel dar, welche von der nach obenhin befindlichen Sonne beschienen wird, so dass auf der einen Erdhälfte *dab* Tag, auf der anderen *bcd* aber Nacht ist. Die Erde rotirt um ihre Axe in der Richtung des kleinen Pfeiles bei *a*, während sie in ihrer Bahn in der Richtung des grossen Pfeiles bei *p* fortläuft. Die rechtläufig, also ungefähr parallel der Richtung der kleinen Pfeile bei *f*,

Fig. 154.



aber schneller als die Erde sich bewegenden Meteorite werden die Erdhälfte *abc* treffen, während die rückläufig, also nahezu parallel der Richtung der kleinen Pfeile bei *g*, im Weltraume fortlaufenden Meteorite die andere Erdhälfte *cda* treffen. Da nun aber die mit grösserer Geschwindigkeit auf die Erde eindringenden rückläufigen Meteorite schon in den höheren Luftregionen ins Glühen kommen, also vorzugsweise Sternschnuppen erzeugen, so werden sich, gleiche Vertheilung der Meteorite nach den verschiedenen Bewegungsrichtungen vorausgesetzt, die zahlreichsten Sternschnuppen an den Orten der Erde zeigen müssen, welche sich eben zwischen *c* und *d* befinden, welche also bereits in die zweite Hälfte der Nacht eingetreten sind. Die Orte zwischen *b* und *c*,

für welche die Nacht noch nicht bis zur Mitternachtsstunde vorgeschritten ist, werden dagegen von Meteoriten rechtläufiger Bewegungsrichtung getroffen, welche ihrer geringeren relativen Geschwindigkeit zur Erde wegen erst in tieferen Luftregionen zum Glühen kommen, also mehr Feuerkugeln und Meteorsteinfälle liefern.

Man kann zu dem gleichen Resultate auch durch folgende Betrachtung kommen. Wäre die Erde unbeweglich im Weltraume, während die Meteorite von allen Seiten her mit gleicher Häufigkeit auf dieselbe eindringen, so würden alle Theile der Erdoberfläche auch in gleichmässiger Weise getroffen werden, die Häufigkeit der Sternschnuppen müsste für alle Stunden der Nacht die gleiche sein. Ständen dagegen die Meteorite unbeweglich im Weltraume, während die Erde in ihrer Bahn fortläuft, so würden alle Stösse nur auf der vorderen Halbkugel (*cda* in Fig. 154) erfolgen, die in der Richtung der Erdbewegung liegt. Unter diesen Umständen würden also Sternschnuppen überhaupt nur an denjenigen Orten der Erdoberfläche erscheinen können, für welche der Ort des Himmelsgewölbes, nach welchem sich die Erde eben hinbewegt, über dem Horizont ist.

Diesen Punkt nennt Schiaparelli den Apex, während Andere ihn als Fliehpunkt bezeichnet haben. Zur Zeit des Sommersolstitiums liegt der Apex im Sternbild der Jungfrau, zur Zeit des Wintersolstitiums aber liegt er im Sternbild der Fische. Der Apex liegt im Sternbild der Zwillinge zur Zeit der Frühlings- und im Sternbild des Schützen zur Zeit des Herbstäquinoctiums.

Befänden sich also die Meteorite unbeweglich im Weltraume, während die Erde in ihrer Bahn fortläuft, so könnten Sternschnuppen nur an solchen Orten erscheinen, für welche der Apex über dem Horizont steht, und zwar würde ihre Häufigkeit mit der Höhe des Apex über dem Horizont zunehmen.

Da nun aber keiner der eben besprochenen Gränzfälle stattfindet, sondern Erde und Meteorite sich im Weltraume bewegen, so wird auch in Beziehung auf die Erscheinung der Meteore ein Mittelzustand eintreten, die Häufigkeit der Sternschnuppen wird im Allgemeinen mit der Erhebung des Apex über den Horizont zunehmen müssen.

So erklärt sich denn auch die Thatsache, dass ausser der täglichen auch noch eine jährliche Periode der Sternschnuppen auftritt, indem dieselben im Allgemeinen in den Herbstmonaten am häufigsten erscheinen, denn in den Herbstmonaten steht der Apex in den Morgenstunden hoch über dem Horizont, während er sich im Frühling in den Morgenstunden nicht hoch über denselben erhebt.

97 **Die periodischen Sternschnuppenfälle.** Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12. bis 14. November und am 10. August (dem Fest des heiligen Laurentius) be-

obachtet; das letztere Phänomen wird in England schon in einem alten Kirchenkalender unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt.

Durch Humboldt wurde die Aufmerksamkeit auf das Novemberphänomen gelenkt, indem er nachwies, dass dasselbe im Jahre 1799 in Amerika mit überraschender Pracht auftrat und vom Aequator bis nach Grönland sichtbar war. Es war ein förmlicher Regen von Sternschnuppen. Erst im Jahre 1832 wiederholte sich die Erscheinung in ähnlicher Weise, wie man sie 1799 beobachtet hatte, im Jahre 1833 aber entwickelte sie sich in einer Grossartigkeit, welche alle früheren Erscheinungen des Novemberschwarmes weit übertraf. Auch diesmal blieb die Erscheinung auf Nordamerika beschränkt. Die Sternschnuppen schienen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt, so dass innerhalb 9 Stunden ihrer über 300 000 fielen.

Olmstedt machte bei Gelegenheit des Sternschnuppenfalles im November 1833 die wichtige Entdeckung, dass die meisten dieser Meteore von einem und demselben Punkte des Himmels auszustrahlen scheinen, d. h. wenn man in einer Sternkarte oder noch besser auf einem Himmelsglobus die scheinbaren Bahnen der beobachteten Sternschnuppen einzeichnet, so bilden sie meist gerade Linien, die von einem und demselben Punkte, dem Radiationspunkte, aus divergiren. Nach Olmstedt's Beobachtungen beträgt die Rectascension des Radiationspunktes für die Sternschnuppen des 13. November 150^0 und seine nördliche Declination 21^0, er liegt also ganz in der Nähe des Sternes γ im grossen Löwen. Nach späteren genaueren Bestimmungen liegt der Radiationspunkt des Novemberschwarmes bei ε leonis.

Nach der Vermuthung von Olbers soll die Erscheinung des Maximums des Novemberphänomens an eine Periode von 34 Jahren gebunden sein, während der amerikanische Astronom H. A. Newton aus der Vergleichung älterer Nachrichten über Sternschnuppenfälle eine Periode von 33 Jahren abgeleitet hatte. Demnach hatte man in den Morgenstunden des 14. November 1866 wieder eine massenhafte Erscheinung von Sternschnuppen zu erwarten.

In Folge dieser Vorhersagung hatte man sich an vielen Orten auf die Beobachtung der Erscheinung gerüstet, und in der That zeigte sie sich in Europa, so weit nicht die ungünstige Witterung die Beobachtung hinderte, sehr brillant. Von den vielen darüber eingelaufenen Berichten wollen wir nur anführen, dass man in Greenwich

zwischen 12 und 1 Uhr . . .	2032	Sternschnuppen
„ 1 „ 2 „ . . .	4860	„
„ 2 „ 3 „ . . .	832	„

zählte. Zu Berlin beobachtete man um

1 Uhr 50 Minuten . .	43	Sternschnuppen
2 „ — „ . .	55	„
2 „ 10 „ . .	48	„

in der Minute. Merkwürdig ist es jedenfalls, dass an allen Beobachtungsorten Europas das Maximum der Sternschnuppenzahl sehr nahe gleichzeitig auftrat, nämlich kurz nach 2 Uhr Berliner Zeit.

In Amerika scheint das Phänomen im Jahre 1866 weniger glänzend gewesen zu sein als in Europa. Im Jahre 1867 sowohl als auch 1868 ist das Novemberphänomen wieder in ungewöhnlicher Entfaltung beobachtet worden. Im Jahre 1867 kam dieser Schwarm namentlich wieder in Nordamerika in der glänzendsten Weise zur Erscheinung, obgleich der helle Mondschein die Beobachtung störte.

In den Jahren 1866, 1867 und 1868 hat man an verschiedenen Beobachtungsorten den Radiationspunkt des Novemberschwarmes zu bestimmen gesucht und ist zu Resultaten gekommen, welche alle nahezu mit dem bereits von Olmstedt ermittelten zusammenfallen, woraus sich dann ergiebt, dass die gerade Linie, welche man von dem Stern ε leonis zu der Stelle gezogen denken kann, welche die Erde in der Nacht vom 13. auf den 14. November passirt, nahezu die relative Richtung angiebt, in welcher die Meteoriten des Novemberschwarmes auf die Erde einzudringen scheinen.

Der Radiationspunkt der Sternschnuppen des 10. August ist nach den Beobachtungen von Heis, der sich überhaupt um die Erforschung der Sternschnuppen hervorragende Verdienste erworben hat, der Stern Algol im Perseus, wesshalb Schiaparelli die Augustmeteore mit dem Namen der Perseiden bezeichnet. Dieser Bezeichnung entsprechend, hat man die Meteoriten des Novemberschwarmes Leoniden genannt.

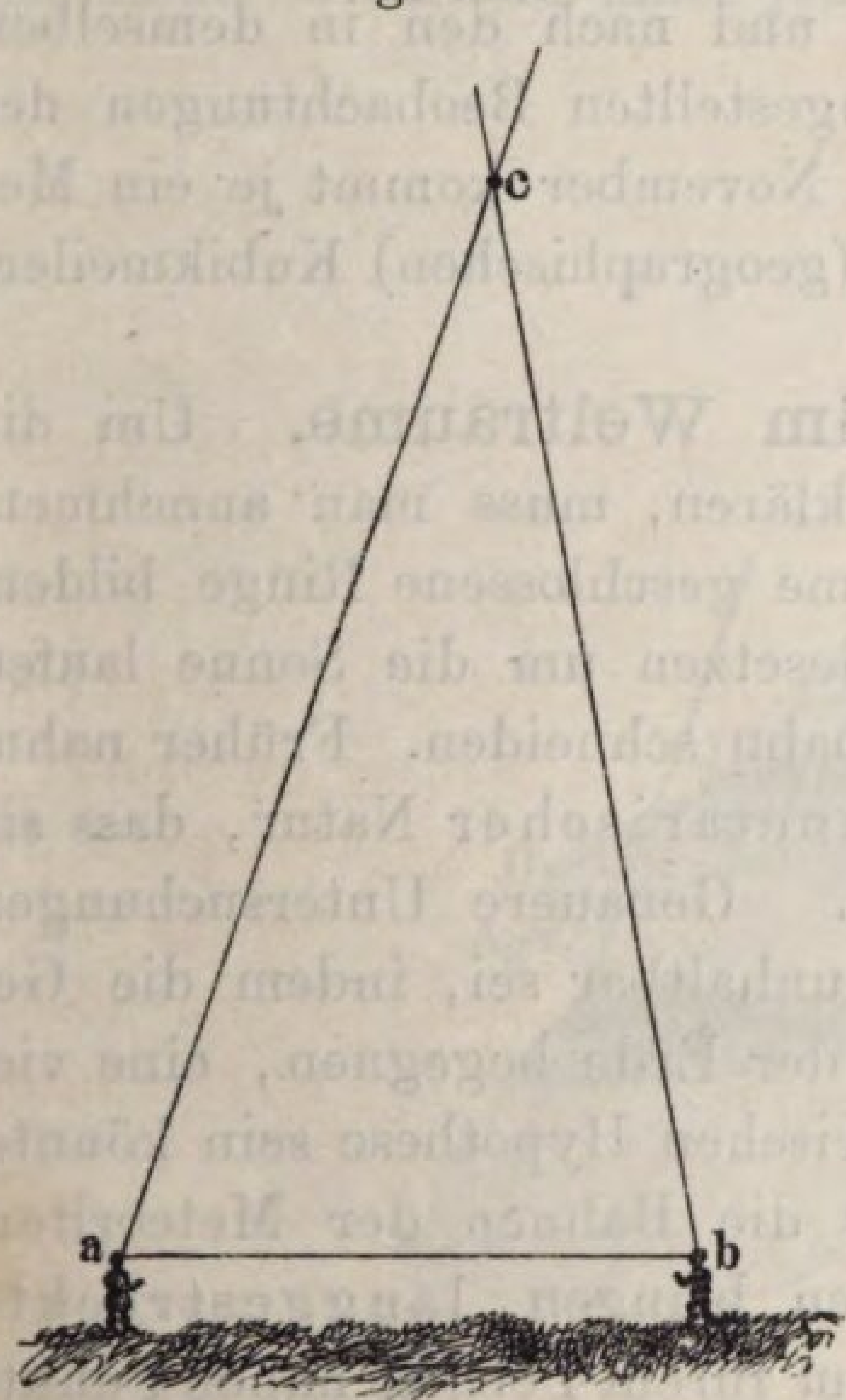
Uebrigens hat Heis gefunden, dass unter den Sternschnuppen des Novemberschwarmes sowohl wie auch unter denen des Augustschwarmes auch solche vorkommen, welche anderen Radiationspunkten zugehören, als die oben genannten und dass es auch für minder dichte Sternschnuppenschwärme anderer Zeiten solche Radiationspunkte giebt.

Die Erscheinung der Sternschnuppen im August zeigt wesentliche Unterschiede von denen des Novembers, welche Boguslawski in folgender Weise charakterisirt. 1) Das Augustphänomen zeigt in der Regel mehrere Tage vor und nach dem Maximum der Erscheinung seine Ankunft durch eine grössere Anzahl von Sternschnuppen an, während das Novemberphänomen fast immer plötzlich eintritt. 2) Die Intensität der Erscheinung ist bei den Meteoren des August weit geringeren Schwankungen unterworfen als das Novemberphänomen und diesem fast immer an Pracht und Fülle überlegen, ausser bei den Maximis des letzteren, welche alle 33 bis 34 Jahre auftreten.

Um die Höhe zu bestimmen, in welcher die Sternschnuppen aufblitzen und erlöschen, brachte Heis in den Jahren 1851 und 1854 mit Vortheil den elektrischen Telegraphen zu correspondirenden Sternschnuppenbeobachtungen in Anwendung. Nach den correspondirenden Beobachtungen, welche im Jahre 1866 während des Novemberschauers zu Berlin und Brandenburg angestellt wurden, betrug die mittlere Höhe

des Aufleuchtens 20, die des Verschwindens 11 geographische Meilen. Aus dem ihm zugegangenen Material über die Novembermeteore berechnete Heis die mittlere Höhe beim Aufleuchten zu 15, die beim Erlöschen zu 8 Meilen. Nach den zu Richmond und Washington angestellten correspondirenden Beobachtungen ergab sich die mittlere Höhe von 25 Meilen für das Aufleuchten und 11 Meilen für das Erlöschen. Seit 1862 hat Secchi für die correspondirenden Beobachtungen zu Rom und Civita Vecchia, welche Orte $8^3/_4$ Meilen von einander entfernt sind, gleichfalls den elektrischen Telegraphen in Anwendung gebracht. Es ergab sich aus diesen Beobachtungen, dass für die in der Nähe des Zeniths auftretenden Sternschnuppen die Parallaxe nicht unter 20 bis 30 Grad betrug. Stellt also in Fig. 155 *a* einen Beobachter in Rom, *b* einen solchen in Civita Vecchia dar, während *c* das von beiden gleichzeitig beobachtete Meteor ist, so war der Winkel *acb*, unter welchem sich die von *a* und *b* nach dem Meteor bei *c* gerichteten Visirlinien schnitten, nicht kleiner als 20 bis 30 Grad; daraus aber folgt, dass die Höhe der Meteore über dem Boden höchstens 25 Meilen betrug.

Fig. 155.



Aus der scheinbaren Bahn einer Sternschnuppe (stella cadente, wie die Italiener sehr bezeichnend sagen) und der Zeitdauer, welche sie braucht, um diese Bahn zu durchlaufen, kann man die wahre Länge des leuchtend durchlaufenen Weges und ihre wahre Geschwindigkeit berechnen, vorausgesetzt, dass die Entfernung des Meteors vom Beobachter bekannt ist. Die Zeit vom Aufleuchten einer Sternschnuppe bis zu ihrem Erlöschen beträgt im Durchschnitt nur $^1/_2$ Secunde, der (für eine mittlere Höhe von 15 Meilen) berechnete wahre Weg ergiebt sich im Durchschnitt gleich 40 000 bis 60 000 Meter, also eine Geschwindigkeit von 80 000 bis 120 000 Meter in der Secunde, eine Geschwindigkeit, welche die oben auf Seite 234 besprochene parabolische Geschwindigkeit weit übersteigt, was aber wohl nur daher rührt, dass man entweder die Dauer der Erscheinung zu kurz oder die scheinbare Bahn zu lang geschätzt hat. Jedenfalls geht daraus hervor, dass die wahre Geschwindigkeit, mit welcher die Sternschnuppen in die Erdatmosphäre eintreten, nicht merklich geringer ist als die parabolische Geschwindigkeit.

Aus der beobachteten Lichtstärke einer Sternschnuppe kann man auf ihre Masse schliessen, wenn ihre Entfernung bekannt ist. A. Her-

schel hat dies für einige Sternschnuppen ausgeführt, welche gleichzeitig an verschiedenen Orten Englands in den Nächten vom 9. und 10. August 1863 beobachtet worden waren, und folgende Resultate gefunden:

Glanz wie Jupiter		2996 Gramm,
„ „ Sirius		358 „
„ „ Wega		29 „
„ „ α Persei	. . .	6 „

Da die Lichtstärke der meisten Sternschnuppen aber weit unter dem der oben angeführten hellen Gestirne steht, so wird ihre Masse auch nur Bruchtheile eines Grammes betragen. Die Dichtigkeit der Meteorschwärme, selbst zu Zeiten, wo sie das Maximum der Sternschnuppen liefern, ist immerhin eine äusserst geringe. Nach den Berliner Beobachtungen des Novemberschwarmes von 1867 beträgt für die Zeit des Maximums der Sternschnuppenzahl der Abstand je zweier benachbarter Meteore 15 bis 20 geographische Meilen und nach den in demselben Jahre zu Washington und Richmond angestellten Beobachtungen des Sternschnuppenfalles vom 13. auf den 14. November kommt je ein Meteor auf einen Raum von ungefähr 14 000 (geographischen) Kubikmeilen.

97 **Die Bahnen der Meteoriten im Weltraume.** Um die periodischen Sternschnuppenfälle zu erklären, muss man annehmen, dass die entsprechenden Meteoritenschwärme geschlossene Ringe bilden, in welchen sie nach den Kepler'schen Gesetzen um die Sonne laufen und welche an bestimmten Stellen die Erdbahn schneiden. Früher nahm man an, dass diese Meteoritenbahnen planetarischer Natur, dass sie also wenig excentrische Ellipsen seien. Genauere Untersuchungen haben aber gezeigt, dass diese Annahme unhaltbar sei, indem die Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite der Erde begegnen, eine viel bedeutendere ist, als sie nach der planetarischen Hypothese sein könnte.

Man muss deshalb annehmen, dass die Bahnen der Meteoriten, welche uns die periodischen Sternschnuppen bringen, langgestreckte Ellipsen sind, welche die Erdbahn in einem ihrem Perihel nahen Punkte schneiden und welche ihrer ganzen Ausdehnung nach mehr oder minder dicht mit Meteoriten besetzt sind.

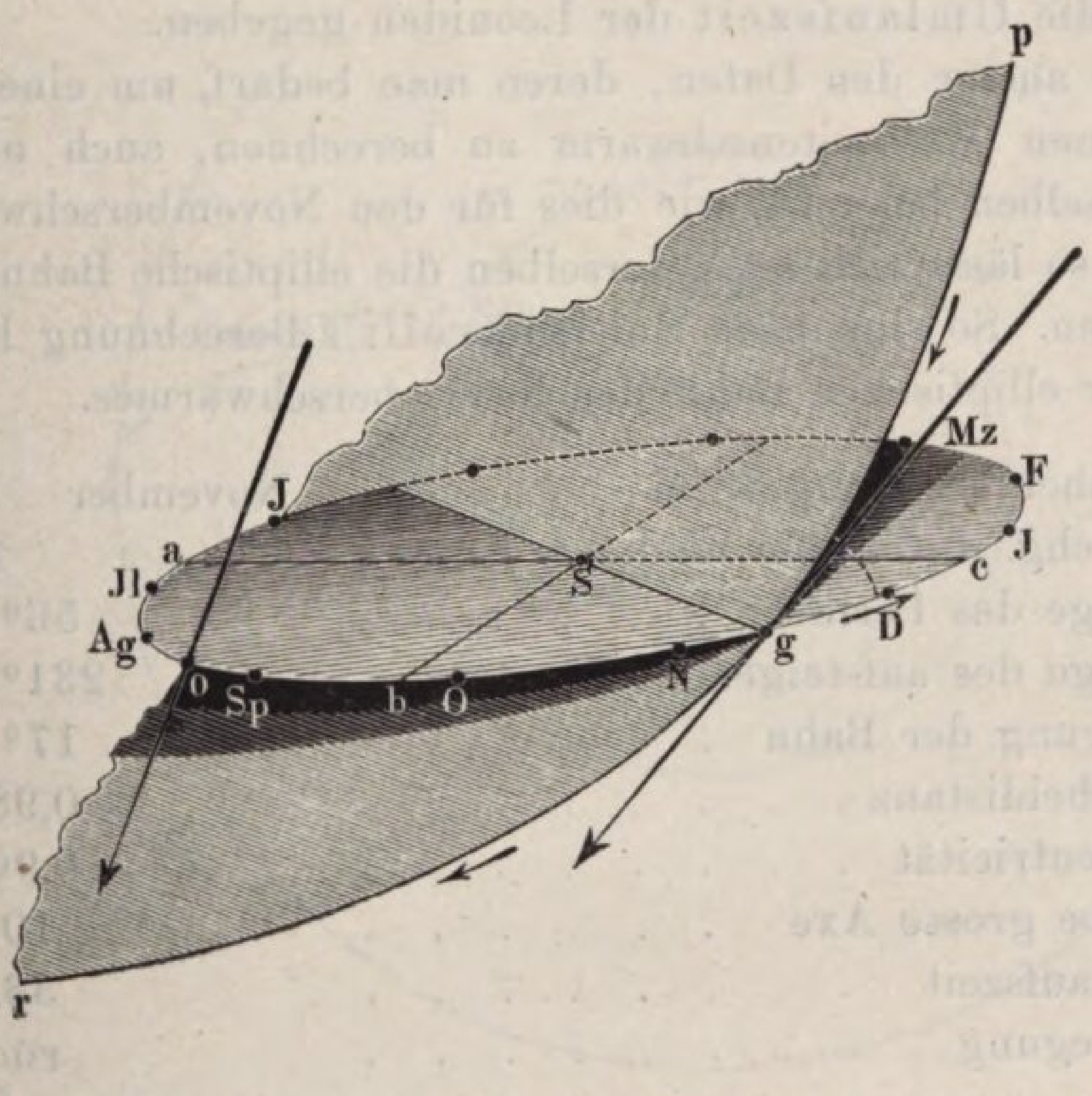
Wie wir aber bereits in §. 87 gesehen haben, fällt eine sehr excentrische elliptische Bahn in der Nähe ihres Perihels so nahe mit der parabolischen des gleichen Brennpunktes und des gleichen Perihels zusammen, dass man an dieser Stelle ohne merklichen Fehler die Parabel für die Ellipse substituiren, also als erste Annäherung einer parabolischen Bahn der Meteoriten berechnen kann.

Eine Parabel ist bestimmt, wenn ihr Brennpunkt, ein Punkt der Curve und die Richtung der Tangente gegeben ist, welche in diesem Punkte die Parabel berührt. Diese Data lassen sich nun in der That, parabolische Bahnen überhaupt vorausgesetzt, für die bei periodischen Sternschnuppenfällen auf die Erde stürzenden Meteorite ermitteln. Die

Sonne nämlich bildet den Brennpunkt der parabolischen Bahn; ein Punkt derselben ist die Stelle, welche die Erde zu der Zeit einnimmt, in welcher der Sternschnuppenschwarm dieselbe trifft. Die Richtung der diesem Punkte der Meteoritenbahn entsprechenden Tangente ergiebt sich, wenn der Radiationspunkt für den Sternschnuppenfall bekannt ist. Eine vom Radiationspunkte zu der Stelle gezogene Linie, welche die Erde in dem fraglichen Momente einnimmt, ist die Richtung, in welcher die Meteoriten auf die Erde zu stürzen scheinen, es ist die Richtung der relativen Bewegung der Meteoriten gegen die Erde. Aus dieser relativen Richtung kann man aber die absolute Richtung im Weltraume bestimmen, in welcher sie auf die Erde treffen.

In Fig. 156 sei z. B. S die Sonne, abc die perspectivisch gezeichnete Erdbahn, auf welcher die Stellen bezeichnet sind, in welchen sich die Erde zu Anfang eines jeden Monats befindet. In a befindet sie sich

Fig. 156.



zur Zeit des Sommer-, in c zur Zeit des Wintersolstitiums, in b aber zur Zeit des Herbstäquinoctiums. Mit o und g sind die Stellen bezeichnet, an welchen sich die Erde zur Zeit des August- und des Novemberphänomens befindet. Der durch den Punkt g gelegte grosse Pfeil giebt die Richtung der Tangente an, welche man sich im Punkte g an die parabolische Bahn der Novembermeteore gelegt denken kann. Die durch die Sonne S und den Pfeil g gelegte Ebene ist die Ebene der Bahn der Novembermeteoriten, von welcher in unserer Figur nur das Stück pgr gezeichnet ist.

In gleicher Weise stellt der durch o gelegte Pfeil die Richtung dar, in welcher die Meteorite des Augustphänomens den Punkt o der Erdbahn passiren.

Folgendes sind nach Schiaparelli's Rechnung die Elemente der parabolischen Bahn der Perseiden:

Länge des Perihels	343° 38′
Länge des aufsteig. Knotens .	138° 16′
Neigung der Bahn	64° 3′
Periheldistanz	0,964° 3′
Bewegung	rückläufig.

Da das Augustphänomen in jedem Jahre mit nahezu gleicher Intensität auftritt, so müssen wir annehmen, dass die Bahn der Perseiden ihrer ganzen Ausdehnung nach gleich dicht mit Meteoriten besetzt sein muss. Anders verhält es sich mit dem Novemberschauer, für welchen nach 33,25 Jahren ein Maximum der Intensität auftritt. Es deutet dies darauf hin, dass eine Stelle des elliptischen Ringes weit dichter mit Meteoriten besetzt sein muss, als der übrige Theil desselben, und da diese dichtere Stelle nach je 33,25 Jahren wieder zum Perihel zurückkehrt, so ist dadurch die Umlaufszeit der Leoniden gegeben.

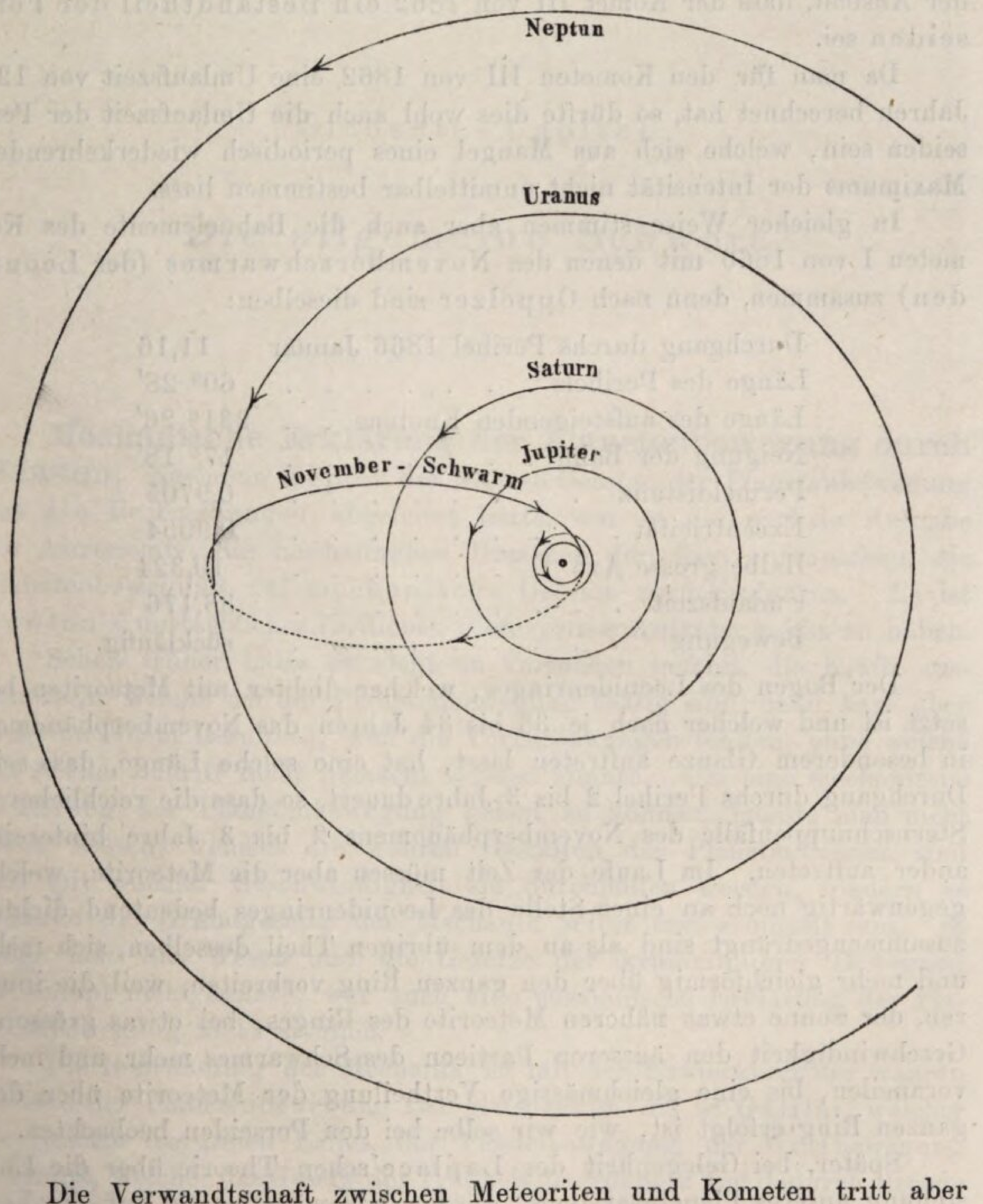
Ist aber ausser den Daten, deren man bedarf, um eine parabolische Bahn für einen Meteoritenschwarm zu berechnen, auch noch die Umlaufszeit desselben bekannt, wie dies für den Novemberschwarm wirklich der Fall ist, so lässt sich nach derselben die elliptische Bahn des Schwarmes berechnen. So sind nach Schiaparelli's Berechnung Folgendes die Elemente der elliptischen Bahn des Novemberschwarmes.

Periheldurchgang 1866	November	10,1
Durchg. durch den niederst. Knoten	„	13,5
Länge des Perihels		56° 25′
Länge des aufsteigenden Knotens .		231° 28′
Neigung der Bahn		17° 44′
Periheldistanz		0,9873
Excentricität		0,9046
Halbe grosse Axe		10,34
Umlaufszeit		33,25 Jahr
Bewegung		rückläufig.

Die Apheldistanz des Novemberschwarmes beträgt demnach 19,69 Erdweiten, sie ist also nur um weniges grösser als die Entfernung des Uranus von der Sonne. Nach den obigen Daten ist in Fig. 157 die Projection der Bahn des Novemberschwarmes auf die Ebene der Ekliptik gezeichnet, und zwar ist der Theil der Bahn punktirt, welcher südlich von der Ebene der Ekliptik, oder wie wir sagen wollen, unter derselben liegt. Während also der Novemberschwarm in seinem niedersteigenden Knoten ganz nahe seinem Perihel die Erdbahn schneidet, liegt sein aufsteigender Knoten sowohl wie auch sein Aphel der Uranusbahn sehr nahe; dagegen geht der Novemberschwarm hoch über und unter der Saturns- und Jupitersbahn her. Wir sehen also, dass die Bahnen der Meteorite in unserem Sonnensystem ganz gleicher Art mit den Kometen-

bahnen sind, nämlich parabolische Bahnen oder langgestreckte Ellipsen, deren Ebenen nicht immer in der Nähe der Ekliptik liegen, wie dies für die Planetenbahnen der Fall ist, sondern bedeutende Winkel mit derselben machen. Ferner sehen wir, dass die Bewegung der Meteorite in ihren Bahnen rückläufig sein kann, wie dies auch bei den Kometen häufig der Fall ist, während alle Planeten sich nur rechtläufig um die Sonne bewegen.

Fig. 157.



Die Verwandtschaft zwischen Meteoriten und Kometen tritt aber noch augenscheinlicher dadurch hervor, dass Schiaparelli nachgewiesen hat, dass die Bahnelemente der Perseiden fast ganz genau mit denen des Kometen III vom Jahre 1862 übereinstimmen. Die Bahnelemente jenes Kometen sind nämlich:

Periheldurchgang	August 22,9
Länge des Perihels	344° 41′
Länge des aufsteigenden Knotens . .	137° 27′
Neigung der Bahn	66° 25′
Periheldistanz	0,9626
Bewegung	rückläufig.

Auf Grund dieser überraschenden Uebereinstimmung ist Schiaparelli der Ansicht, dass der Komet III von 1862 ein Bestandtheil der Perseiden sei.

Da man für den Kometen III von 1862 eine Umlaufszeit von 123 Jahren berechnet hat, so dürfte dies wohl auch die Umlaufszeit der Perseiden sein, welche sich aus Mangel eines periodisch wiederkehrenden Maximums der Intensität nicht unmittelbar bestimmen liess.

In gleicher Weise stimmen aber auch die Bahnelemente des Kometen I von 1866 mit denen des Novemberschwarmes (der Leoniden) zusammen, denn nach Oppolzer sind dieselben:

Durchgang durchs Perihel 1866 Januar	11,16
Länge des Perihels	60° 28′
Länge des aufsteigenden Knotens . .	231° 26′
Neigung der Bahn	17° 18′
Periheldistanz	0,9705
Excentricität	0,9054
Halbe grosse Axe	10,324
Umlaufszeit	33,176
Bewegung	rückläufig.

Der Bogen des Leonidenringes, welcher dichter mit Meteoriten besetzt ist und welcher nach je 33 bis 34 Jahren das Novemberphänomen in besonderem Glanze auftreten lässt, hat eine solche Länge, dass sein Durchgang durchs Perihel 2 bis 3 Jahre dauert, so dass die reichlicheren Sternschnuppenfälle des Novemberphänomens 2 bis 3 Jahre hintereinander auftreten. Im Laufe der Zeit müssen aber die Meteorite, welche gegenwärtig noch an einer Stelle des Leonidenringes bedeutend dichter zusammengedrängt sind als an dem übrigen Theil desselben, sich mehr und mehr gleichförmig über den ganzen Ring verbreiten, weil die inneren, der Sonne etwas näheren Meteorite des Ringes, bei etwas grösserer Geschwindigkeit den äusseren Partieen des Schwarmes mehr und mehr voraneilen, bis eine gleichmässige Vertheilung der Meteorite über den ganzen Ring erfolgt ist, wie wir selbe bei den Perseiden beobachten.

Später, bei Gelegenheit der Laplace'schen Theorie über die Entstehung unseres Planetensystems, werden wir noch einmal auf die Verwandtschaft zwischen Kometen und Meteoriten zurückkommen.

Siebentes Capitel.

Die allgemeine Schwere.

Mechanische Erklärung der Planetenbewegung durch Newton. Nachdem Kepler die wahren Gesetze der Planetenbewegung aus den Beobachtungen abgeleitet hatte, war es die nächste Aufgabe der Astronomie, die mechanischen Ursachen derselben aufzusuchen, die Planetenbewegung auf mechanische Gesetze zurückzuführen. Es ist Newton's unsterbliches Verdienst, diese grosse Aufgabe gelöst zu haben. 98

Schon früher hatte es nicht an Versuchen gefehlt, die Kräfte auszumitteln, welche bei der Planetenbewegung thätig sind; man kam aber nicht zu einem Resultate, weil die Vorbedingungen fehlten, ohne welche ein solcher Schritt nicht gemacht werden konnte. Um eine mechanische Erklärung der Planetenbewegung geben zu können, musste man nicht allein wissen, welches die wahren Gestalten der Planetenbahnen sind und mit welcher Geschwindigkeit sie durchlaufen werden, sondern es mussten die Grundgesetze der Mechanik selbst erst ermittelt sein. So lange man das Wesen und die Gesetze der krummlinigen Bewegung überhaupt nicht kannte, war auch eine mechanische Erklärung der Planetenbewegung nicht möglich.

Die Begründung der Mechanik ist mit der Entdeckung der wahren Gesetze der Planetenbewegung fast gleichzeitig. Es ist Galiläi, welcher die Gesetze des freien Falles, der Pendelbewegung, der Wurfbewegung erkannte, welcher das Gesetz der Trägheit begründete und dadurch gerade der Schöpfer der Mechanik wurde. Das Gesetz der Trägheit zeigt, wie ein Körper, welcher einmal in Bewegung ist, diese Bewegung unverändert beibehält, wenn nicht äussere Kräfte sie aufheben oder modificiren und wie jede krummlinige Bewegung durch die Combination der dem Körper bereits innewohnenden und durch das Beharrungsvermögen

ihm verbleibenden Geschwindigkeit mit den Wirkungen irgend einer continuirlich wirkenden beschleunigenden Kraft entsteht.

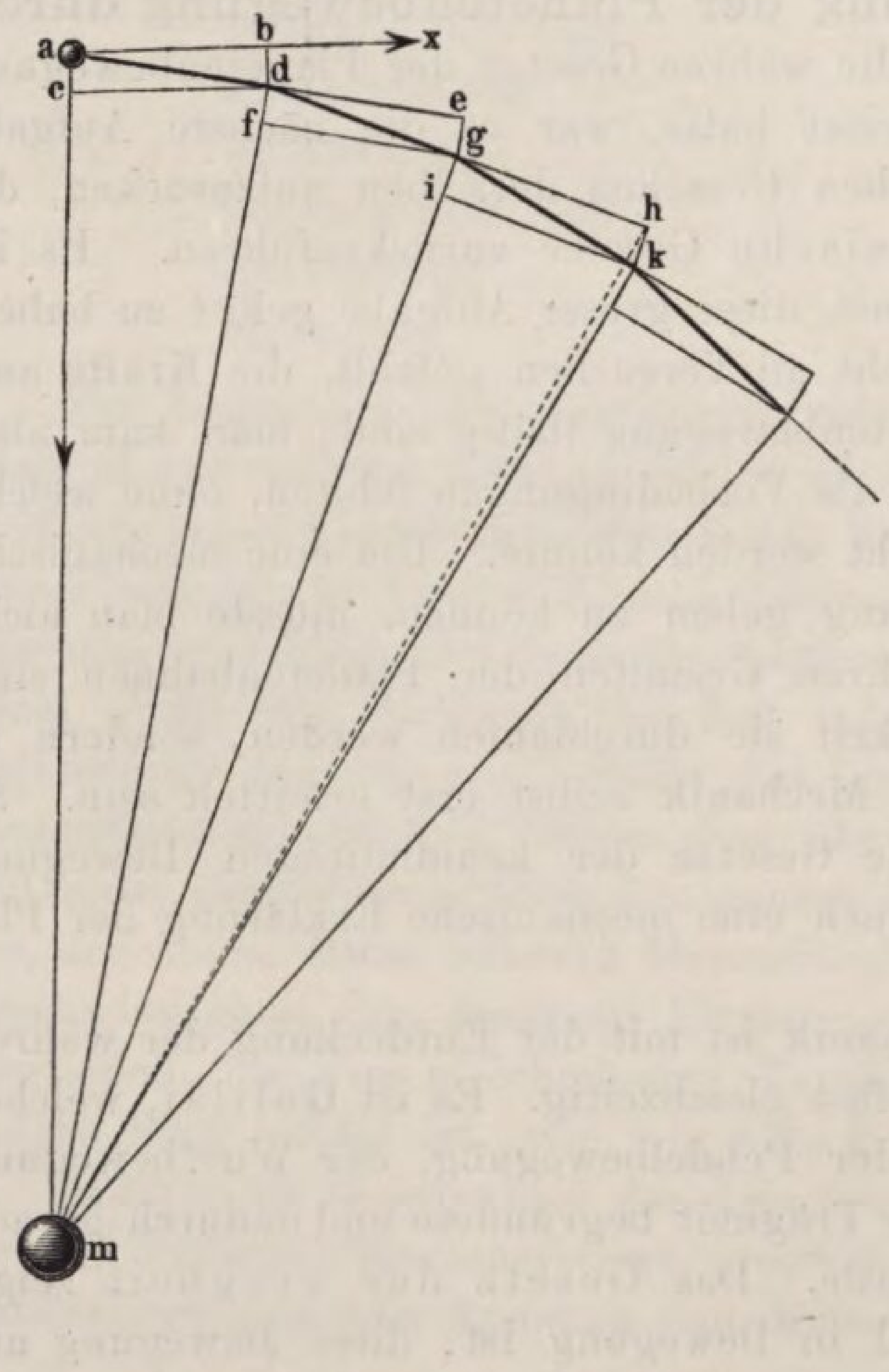
Kepler und Galiläi sind es also, welche den Grund zu dem wissenschaftlichen Gebäude legten, welches durch Newton's Entdeckung der allgemeinen Schwere vollendet wurde.

Wie durch die Combination irgend einer beschleunigenden Kraft mit der Geschwindigkeit, welche ein Körper bereits hat, überhaupt eine krummlinige Bewegung entsteht, wie der Körper beständig um einen festen Anziehungsmittelpunkt kreist, wenn die beschleunigende Kraft stets gegen diesen Anziehungsmittelpunkt hin gerichtet ist, wird hier als bekannt vorausgesetzt (Lehrbuch der Physik, 7. Aufl. 1. Bd. S. 260). In den folgenden Paragraphen sollen nun die mechanischen Gesetze der Planetenbewegung überhaupt näher betrachtet, zunächst aber aus den Kepler'schen Gesetzen die Natur der beschleunigenden Kräfte abgeleitet werden, welche auf die Planeten wirken.

99 Die Planeten werden durch Centralkräfte angetrieben.

Nach dem ersten Kepler'schen Gesetze sind die Flächenräume gleich, welche der die Sonne und den Planeten verbindende Leitstrahl in gleichen Zeiten zurücklegt. Aus diesem Gesetz folgt aber, dass die beschleunigende Kraft, welche auf die Planeten wirkt, stets gegen die Sonne hin gerichtet sein muss.

Fig. 158.



Wenn der Planet in einem kleinen Zeittheilchen den Weg dg Fig. 158 zurücklegt, so beschreibt der Leitstrahl während dieses Zeittheilchens das Dreieck dgm. Im nächsten gleich grossen Zeittheilchen würde der Planet unter dem alleinigen Einfluss der Geschwindigkeit, mit welcher er in g ankommt, den Weg gh zurücklegen, welcher gleich dg ist, da aber auch während des zweiten Zeittheilchens die gegen m gerichtete beschleunigende Kraft auf ihn wirkt, so legt er den Weg gk, die Diagonale des Parallelogrammes $ghki$ zurück, während des zweiten Zeittheilchens beschreibt also der Leitstrahl

das Dreieck gkm, von welchem sich leicht beweisen lässt, dass es gleich ghm und also auch gleich dgm ist.

Die in gleichen Zeiten von dem Leitstrahl beschriebenen Flächenräume sind also gleich, wenn nur die beschleunigende Kraft stets gegen denselben Punkt hin gerichtet ist, nach welchem Gesetze im Uebrigen die beschleunigende Kraft mit der Entfernung von m sich ändern mag.

Die Eigenthümlichkeit, dass der Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt, findet nur dann Statt, wenn der Mittelpunkt, von dem aus man die Leitstrahlen nach dem beweglichen Körper gezogen denkt, zugleich der Punkt ist, nach welchem die beschleunigende Kraft stets hinwirkt. Wirkte z. B. auf den in g angekommenen Körper nun eine beschleunigende Kraft, deren Richtung nicht in die Linie gm fällt, so würde der Körper am Ende des nächsten Zeittheilchens in irgend einem Punkte p ankommen, welcher nicht auf der mit gm parallelen Linie kk, sondern diesseits oder jenseits derselben liegt, das Dreieck gmp würde also grösser oder kleiner sein als dgm.

Da nun in der That der von dem Planeten zur Sonne gezogene Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt, so ist klar, dass die Sonne den Centralpunkt bildet, gegen welchen die auf die Planeten einwirkenden beschleunigenden Kräfte stets gerichtet sind.

Abnahme der Centralkraft mit wachsender Entfernung von der Sonne. Aus dem ersten Kepler'schen Gesetze (nach welchem der Leitstrahl des Planeten in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume zurücklegt) konnte man nur den Schluss ziehen, dass die Planeten stets gegen die Sonne hingetrieben, wir können also auch sagen, von der Sonne angezogen werden; in welchem Verhältniss aber diese anziehende Kraft der Sonne zu dem Abstande der Planeten von derselben stehe, das lässt das erste Kepler'sche Gesetz, wie schon bemerkt wurde, völlig unentschieden, denn es findet Statt, welches auch das Gesetz sein mag, welchem dieses Verhältniss unterworfen ist. Dieses Gesetz ergiebt sich aber als nothwendige Folge aus dem dritten Kepler'schen Gesetze. 100

Nach dem dritten Kepler'schen Gesetze verhalten sich die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Abstände von der Sonne (Seite 146). Bezeichnen wir mit T und t die Umlaufszeiten, mit R und r die mittleren Abstände zweier Planeten, so haben wir also:

$$\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}.$$

Die Mechanik lehrt uns aber, dass, wenn ein Körper um einen Anziehungsmittelpunkt einen Kreis vom Halbmesser r während der Zeit t zurücklegt, alsdann die beschleunigende Kraft v, welche den Körper gegen den Mittelpunkt hintreibt, ist:

$$v = \frac{4\pi^2 r}{t^2}.$$

Für den Planeten, dessen Umlaufszeit T und dessen mittlerer Abstand von der Sonne R ist, haben wir demnach:

$$V = \frac{4\pi^2 R}{T^2},$$

folglich:

$$\frac{v}{V} = \frac{4\pi^2 r}{t^2} \cdot \frac{T^2}{4\pi^2 R} = \frac{r \cdot T^2}{R t^2}.$$

Nun aber ist $\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}$, folglich haben wir:

$$\frac{v}{V} = \frac{r}{R} \cdot \frac{R^3}{r^3} = \frac{R^2}{r^2},$$

das heisst mit Worten: die beschleunigenden Kräfte, welche die Planeten gegen die Sonne hintreiben, verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernung von der Sonne, ein Gesetz, welches sich wohl a priori voraussehen liess, da es für alle Wirkungen in die Ferne gilt, insofern wir sie von einem Punkte ausgehend betrachten können.

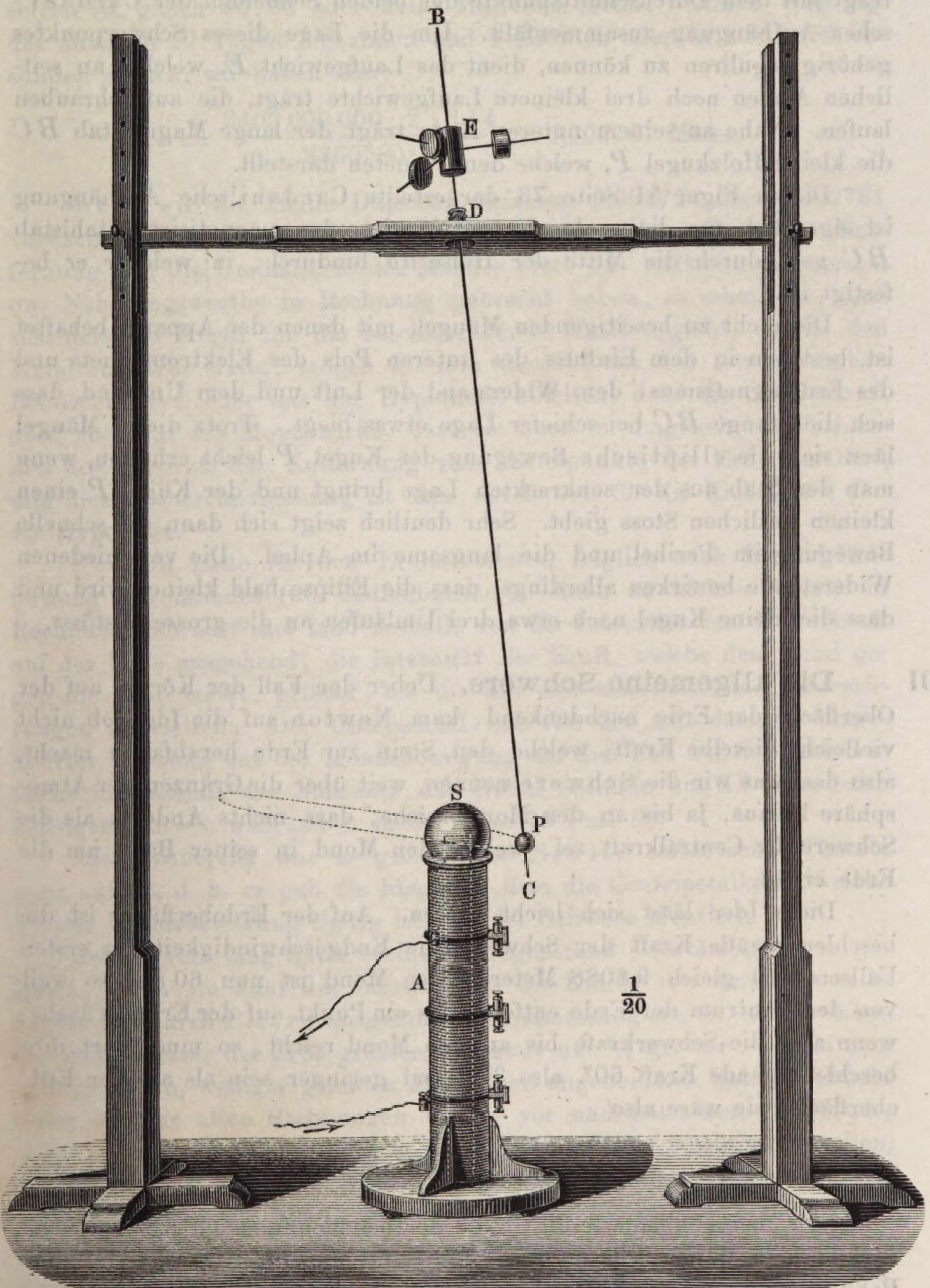
Wird einem Körper, welcher der Wirkung einer Kraft ausgesetzt ist, die ihn stets gegen einen und denselben Punkt hintreibt, und deren Stärke im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernung vom Centralpunkte steht, auf irgend eine Weise eine seitliche Geschwindigkeit mitgetheilt, so muss er, wie sich mit Hülfe höherer Rechnung nachweisen lässt, eine Curve beschreiben, welche nothwendig ein Kegelschnitt ist, und zwar hängt es von dem Verhältniss zwischen der Centripetalkraft und Tangentialkraft ab, ob die durchlaufene Curve eine Ellipse, eine Parabel oder eine Hyperbel sein wird. Bei den Planeten kommen nur elliptische Bahnen vor, während bei Kometen möglicherweise auch parabolische Bahnen vorkommen. Die kreisförmige Bewegung ist nur ein specieller Fall der elliptischen, da der Kreis als eine Ellipse betrachtet werden kann, deren Excentricität Null ist, deren beide Brennpunkte also in einem zusammenfallen.

Da die Trabanten bei ihrem Umlauf um die entsprechenden Planeten gleichfalls die Kepler'schen Gesetze befolgen, so ist klar, dass die Kräfte, mit welchen die Planeten ihre Trabanten anziehen, demselben Gesetze unterworfen sind, wie die Anziehungskraft, welche zwischen der Sonne und den Planeten wirksam ist.

Zur Demonstration der Kepler'schen Gesetze hat Hagenbach einen von der Société Genevoise pour la construction d'instruments de physique ausgeführten Apparat erdacht, welchen Fig. 159 in $^1/_{20}$ der natürlichen Grösse darstellt. In der Mitte steht ein grosser Elektromagnet, dessen Kern noch etwas über die oberste der vier Spiralen

hervorragt und auf welchen eine polirte hölzerne Kugel S geschoben

Fig. 159.



wird, welche den anziehenden Körper, etwa die Sonne, vorstellt. BC ist ein langer dünner Stahlmagnet. Bei D ist dieser Magnetstab vermöge

einer Cardani'schen Aufhängung so befestigt, dass seine Schwere eliminirt ist, dass also der Schwerpunkt des Magnetstabes mit allem was er trägt mit dem Durchschnittspunkte der beiden Schneiden der Cardani'schen Aufhängung zusammenfällt. Um die Lage dieses Schwerpunktes gehörig reguliren zu können, dient das Laufgewicht E, welches an seitlichen Armen noch drei kleinere Laufgewichte trägt, die auf Schrauben laufen. Nahe an seinem unteren Ende trägt der lange Magnetstab BC die kleine Holzkugel P, welche den Planeten darstellt.

Die in Figur 51 Seite 73 dargestellte Cardani'sche Aufhängung ist eigentlich für diesen Apparat construirt; der magnetisirte Stahlstab BC geht durch die Mitte der Hülse ab hindurch, in welcher er befestigt ist.

Die nicht zu beseitigenden Mängel, mit denen der Apparat behaftet ist, bestehen in dem Einfluss des unteren Pols des Elektromagnets und des Erdmagnetismus, dem Widerstand der Luft und dem Umstand, dass sich die Stange BC bei schiefer Lage etwas biegt. Trotz dieser Mängel lässt sich die elliptische Bewegung der Kugel P leicht erhalten, wenn man den Stab aus der senkreckten Lage bringt und der Kugel P einen kleinen seitlichen Stoss giebt. Sehr deutlich zeigt sich dann die schnelle Bewegung im Perihel und die langsame im Aphel. Die verschiedenen Widerstände bewirken allerdings, dass die Ellipse bald kleiner wird und dass die kleine Kugel nach etwa drei Umläufen an die grosse anstösst.

101 **Die allgemeine Schwere.** Ueber den Fall der Körper auf der Oberfläche der Erde nachdenkend, kam Newton auf die Idee, ob nicht vielleicht dieselbe Kraft, welche den Stein zur Erde herabfallen macht, also das, was wir die Schwere nennen, weit über die Gränzen der Atmosphäre hinaus, ja bis an den Mond reiche, dass nichts Anderes als die Schwere die Centralkraft sei, welche den Mond in seiner Bahn um die Erde erhält.

Diese Idee lässt sich leicht prüfen. Auf der Erdoberfläche ist die beschleunigende Kraft der Schwere (die Endgeschwindigkeit der ersten Fallsecunde) gleich 9,8088 Meter. Der Mond ist nun 60 mal so weit von dem Centrum der Erde entfernt, als ein Punkt auf der Erdoberfläche; wenn also die Schwerkraft bis an den Mond reicht, so muss dort ihre beschleunigende Kraft 60^2, also 3600 mal geringer sein als auf der Erdoberfläche, sie wäre also

$$\frac{9,8088}{3600} = 0,002724 \text{ Meter.}$$

Nun aber können wir die Grösse der beschleunigenden Kraft, welche wirklich den Mond nach der Erde hintreibt, aus dem Halbmesser seiner Bahn und seiner Umlaufszeit berechnen. Wir haben:

$$v = \frac{4\pi^2 r}{t^2} = \frac{2\pi r \,.\, 2\pi}{t^2}.$$

Der Umfang der Erde ist 40 Millionen Meter, also ist der Umfang der Mondsbahn, d. h. der Werth $2 \pi r$, welcher in obige Gleichung zu setzen ist, gleich 40 . 60 oder 2400 Millionen Meter. Diesen Weg legt der Mond in 27 Tagen 7 Stunden und 4 Minuten oder in 2 360 580 Secunden zurück; wir haben also:

$$v = \frac{2400\,000\,000 \,.\, 2 \,.\, 3{,}14}{2360580^2} = 0{,}002761 \text{ Meter.}$$

Wenn wir die kleine Differenz zwischen 0,002724 und 0,002761 vernachlässigen, welche übrigens nur daher rührt, dass wir für die Entfernung und die Umlaufszeit des Mondes statt der vollkommen genauen nur Näherungswerthe in Rechnung gebracht haben, so sehen wir, dass sich derselbe Werth für die beschleunigende Kraft ergiebt, welche den Mond zur Erde treibt, mögen wir nun dieselbe aus den astronomischen Beobachtungen oder aus der Hypothese ableiten, dass die Schwerkraft auch noch auf den Mond wirke, dass sie aber im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde abnehme, und diese Uebereinstimmung ist eben ein Beweis für die Richtigkeit dieser Hypothese.

Newton hatte für den Erdhalbmesser, folglich auch für die Entfernung des Mondes (60 Erdhalbmesser), einen zu kleinen Werth in Rechnung gebracht und fand deshalb, von der Intensität der Schwerkraft auf der Erde ausgehend, die Intensität der Kraft, welche den Mond gegen die Erde treibt, grösser, als die aus den astronomischen Beobachtungen abgeleitete. Der Unterschied war von der Art, dass, in umgekehrter Ordnung aus der Mondsbewegung auf den Fall auf der Erdoberfläche schliessend, der Fallraum der ersten Secunde nur 13 Fuss hätte betragen müssen, während er in der That 15 Fuss ist.

Diese Differenz war so gross, dass Newton selbst seine Theorie ganz aufgab, d. h. er gab die Idee auf, dass die Centripetalkraft, welche bei der Mondsbewegung thätig ist, mit der Schwere identisch sei.

Zwölf Jahre lang hatte er diesen Gegenstand vollständig liegen gelassen, als er im Juni des Jahres 1682 die Kunde von einer neuen in Frankreich durch Picard ausgeführten Gradmessung erhielt, nach welcher der Durchmesser der Erde grösser, und zwar um $^1/_7$ grösser war, als man nach früheren, weniger genauen Messungen angenommen hatte. Alsbald nahm er seine alten Rechnungen wieder vor und hatte nun die Freude, seine schon aufgegebene Theorie aufs Vollständigste bestätigt zu sehen.

Die Sonne zieht die Planeten, die Planeten aber ziehen ihre Satelliten an, und die Kraft, welche die Monde gegen ihre Planeten hintreibt, ist identisch mit der Schwerkraft, welche alle Körper niederzieht, die sich auf der Oberfläche der Planeten befinden. Das Gesetz dieser Anziehung, welches unser ganzes Planetensystem beherrscht, lässt sich in folgender Weise aussprechen:

Je zwei materielle Körper ziehen sich mit einer Kraft an,

welche ihren Massen direct und dem Quadrat ihrer Entfernungen umgekehrt proportional ist.

Bezeichnet man mit m und m' die Massen der beiden Körper, mit r ihre Entfernung, so ist also ihre gegenseitige Anziehung gleich:

$$f \frac{m \cdot m'}{r^2},$$

wo f ein constanter Factor ist.

Das Gewicht eines Körpers auf der Oberfläche eines Planeten ist die Resultirende aller Anziehungen, welche sämmtliche Moleküle, aus denen der Planet zusammengesetzt ist, auf den fraglichen Körper ausüben. Diese Resultirende ist stets gegen den Mittelpunkt des Planeten hin gerichtet, insofern man ihn als vollkommen kugelförmig betrachtet und also von seiner Abplattung abstrahirt. Für diesen Fall wirkt auch die Gesammtanziehung eines Planeten in die Ferne sowohl wie auf einen Körper, welcher sich auf seiner Oberfläche befindet, gerade so, als ob die ganze Masse des Planeten sich in seinem Mittelpunkte befände. Bezeichnen wir also mit m die Masse, mit ϱ den Halbmesser eines Planeten, so ist die Kraft, mit welcher die Einheit der Masse auf der Oberfläche des Planeten gegen den Mittelpunkt hingezogen wird:

$$V = f \frac{m}{\varrho^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

Die Geschwindigkeit, also auch die Beschleunigung, mit welcher ein Körper auf der Planetenoberfläche fällt, ist von seiner Masse unabhängig, sie ist gleich der Geschwindigkeit und der Beschleunigung, mit welcher die Masseneinheit fällt, sie ist also:

$$g = h \frac{m}{\varrho^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

wo h einen constanten Factor bezeichnet, dessen Bestimmung für uns jetzt kein Interesse hat.

Betrachtet man die Bewegung eines Planeten, so ist streng genommen der Mittelpunkt der Sonne kein fester Punkt, sondern der Planet sowohl als auch die Sonne selbst beschreiben eine Ellipse um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt, welcher aber stets dem Mittelpunkte der Sonne sehr nahe liegt, weil die Masse der Planeten nur ein höchst unbedeutender Bruchtheil der Sonnenmasse ist; bezieht man aber die Bewegung des Planeten auf den Mittelpunkt der Sonne, indem man denselben als fest betrachtet, so ist seine Bahn gleichfalls eine elliptische.

Es sei M die Masse der Sonne, m die Masse eines Planeten und R der Abstand beider von einander, so ist die beschleunigende Kraft, welche den Planeten gegen den gemeinschaftlichen Schwerpunkt treibt:

$$G = h \frac{m}{R} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 3)$$

während die Sonne gegen denselben Schwerpunkt mit einer Beschleunigung:

$$\Gamma = h\frac{m}{R^2}$$

hingetrieben wird. Letztere Grösse kann man aber als verschwindend klein gegen die erstere betrachten, so dass also G das Maass der Beschleunigung ist, mit welchem der Planet um die Sonne gravitirt. Ebenso ist:

$$G' = h\frac{m}{r^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

der Werth der Beschleunigung, mittelst deren ein Satellit um seinen Planeten kreist, wenn r die Entfernung beider bezeichnet und die Masse des Trabanten im Vergleich zur Masse m des Planeten als verschwindend klein betrachtet werden kann.

Masse der Sonne und der Planeten. Die Formeln, welche 102
wir im vorigen Paragraphen kennen lernten, geben uns ein Mittel an die Hand, die Masse der Planeten, welche Satelliten haben, mit der Masse der Sonne zu vergleichen.

Für die beschleunigende Kraft, unter deren Einfluss ein Planet um die Sonne kreist, haben wir auch den Werth:

$$G = \frac{4\pi R}{T^2},$$

wenn R, wie oben, der Halbmesser der Planetenbahn und T seine Umlaufszeit ist.

Wenn wir diesen Werth von G dem Werthe bei 3) gleichsetzen, so kommt:

$$\frac{4\pi R}{T^2} = h\frac{M}{R^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

In gleicher Weise erhalten wir zwei Ausdrücke für die beschleunigende Kraft, unter deren Einfluss der Satellit um seinen Planeten kreist, und wenn wir beide gleich setzen:

$$\frac{4\pi r}{t^2} = h\frac{m}{r^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$

wenn t die Umlaufszeit des Trabanten und r seine Entfernung vom Mittelpunkte des Planeten bezeichnet.

Dividirt man die Gleichung 5) durch Gleichung 6), so kommt:

$$\frac{R t^2}{r T^2} = \frac{M}{m} \cdot \frac{r^2}{R^2}$$

und endlich:

$$\frac{M}{m} = \frac{R^3 t^2}{r^3 T^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 7)$$

Nehmen wir die Entfernung des Mondes von der Erde zur Längeneinheit, so ist $r = 1$ und $R = 400$.

Die Umlaufszeit des Mondes um die Erde beträgt 39 343, die der Erde um die Sonne beträgt 525 950 Minuten. Setzen wir nun in Gleichung 7) $t = 39\,343$ und $T = 525\,950$ und ausserdem für R und r die obigen Zahlenwerthe, so kommt:

$$\frac{M}{m} = 358\,120,$$

d. h. die Masse der Sonne ist 358 120mal so gross als die Masse der Erde. Dieser Zahlenwerth ist jedoch nur eine erste Annäherung an das wahre Verhältniss. Wenn man für Umlaufszeiten und Entfernungen die ganz genauen Werthe setzt und die Masse der Erde nicht gegen die der Sonne, die Masse des Mondes nicht gegen die der Erde vernachlässigt, wie es bei obiger Berechnung geschehen ist, so ergiebt sich für die Masse der Sonne:

$$M = 355\,000,$$

wenn man die Masse der Erde als Einheit nimmt.

Die Umlaufszeit t' des äussersten Jupiterstrabanten ist 24 032 Minuten, seine Entfernung vom Mittelpunkte des Jupiter ist 27 Jupitershalbmesser oder, in Mondabständen ausgedrückt, $r' = 5{,}2$. Bezeichnen wir also mit m' die Masse des Jupiter, so haben wir:

$$\frac{m'}{m} = \frac{r'^3 t^2}{r^3 t'^2}$$

und wenn wir für r, r', t und t' ihre Zahlenwerthe setzen:

$$\frac{m'}{m} = 376.$$

Auch dieser Werth ist nur eine erste Annäherung, der genaue Werth der Jupitersmasse ist 340, wenn man die Masse der Erde zur Einheit nimmt.

Nach derselben Methode findet man, dass die Masse des Saturn 102mal, die des Uranus 14,5mal so gross ist als die Masse der Erde.

Es ist bereits oben der wahre Durchmesser der Sonne und der Planeten angegeben worden, und daraus lässt sich dann leicht ihr Volumen berechnen. Setzt man das Volumen der Erde gleich 1, so ergiebt sich das Volumen der Sonne, des Jupiter, des Saturn und des Uranus, wie es die zweite Columne der folgenden Tabelle angiebt.

	Volumen.	Masse.	Dichtigkeit.
Erde	1	1	1
Sonne	1 409 725	355 000	0,252
Jupiter	1491	340	0,227
Saturn	772	102	0,131
Uranus	86,5	14,5	0,167

Die dritte Columne dieser Tabelle enthält die eben besprochenen Werthe für die Massen der genannten Himmelskörper. Man sieht nun sogleich, dass die Massen dem körperlichen Inhalte keineswegs proportional bleiben; während z. B. der cubische Inhalt des Jupiter 1491mal grösser ist als der der Erde, so ist die Masse des Jupiter doch nur 340mal so gross als die Masse der Erde, es ist also klar, dass Jupiter weniger dicht sein muss als die Erde.

Dividirt man die Zahlen der dritten Columne durch die entsprechenden Zahlen der zweiten, so findet man die Werthe der Dichtigkeit, wie sie in der letzten Verticalreihe aufgeführt sind. Die Sonne ist also nahezu 4mal weniger dicht als die Erdmasse; der Jupiter ist nicht ganz so dicht wie die Sonne, noch weit weniger dicht aber sind Saturn und Uranus.

Dichtigkeit der Erde. Wir haben eben die Dichtigkeit der Sonne 103
und mehrerer Planeten nur mit der mittleren Dichtigkeit der Erde verglichen, wir wollen nun sehen, auf welche Weise man die Masse und die auf Wasser bezogene Dichtigkeit der Erdkugel selbst bestimmen kann.

Ein Bleiloth, welches in einer vollkommen ebenen Gegend im Freien aufgehängt wird, ist stets gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet; wenn sich aber auf einer Seite des Bleilothes eine bedeutende, über die Ebene hervorragende Masse, etwa ein Gebirgszug, befindet, so wird diese gleichfalls anziehend auf die Kugel des Lothes wirken und eine Ablenkung desselben aus der Verticalen veranlassen.

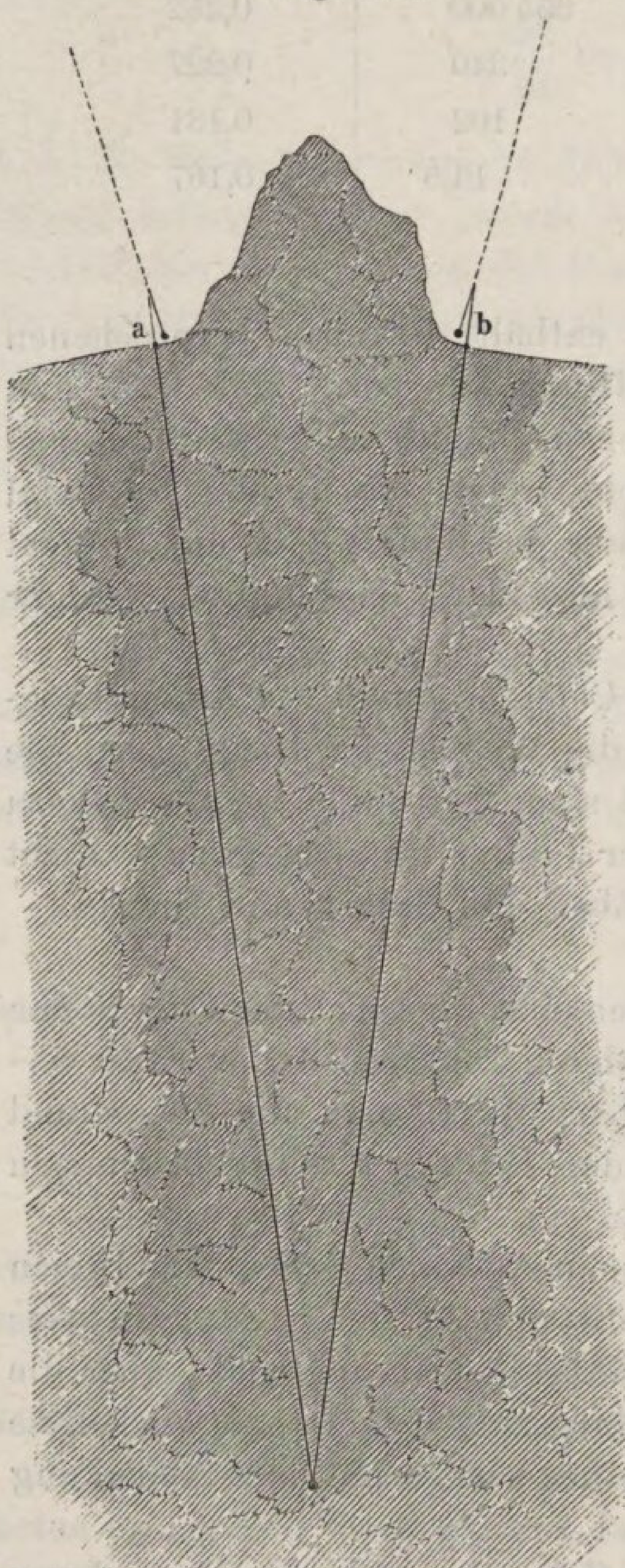
In gleicher Weise wird die Nähe von Gebirgen auch eine Abweichung der freien Oberfläche der Gewässer von der wahren Horizontalen bewirken, da ja dieselbe stets rechtwinklig auf der Richtung des Bleilothes steht.

Bouguer war der Erste, welcher die Idee hatte, in der Anziehung der Gebirge einen Beweis für die allgemeine Anziehung der Materie zu suchen. Er stellte seine Versuche an den Abhängen des Chimborasso an und fand eine Ablenkung des Bleilothes von 7″ bis 8″. Dass bei der bedeutenden Ausdehnung des Gebirges keine grössere Ablenkung gefunden

wurde, rührt wahrscheinlich daher, dass sich grosse Höhlungen im Inneren jener vulcanischen Berge befinden.

Sehen wir nun zunächst, wie man im Stande ist, eine Ablenkung des Bleilothes von der Verticalen (d. h. von der nach dem Mittelpunkte der Erde gerichteten Geraden) nachzuweisen.

Fig. 160.



An unseren astronomischen Höhenkreisen bestimmen wir die Richtung der Horizontalen mit Hülfe der Wasserwage, folglich fällt die Richtung des Zeniths, wie sie uns der Höhenkreis angiebt, zusammen mit der Richtung des Bleilothes. Die durch den Höhenkreis gemessene Zenithdistanz eines Gestirnes ist der Winkel, welchen die nach dem Sterne gerichtete Visirlinie mit der Richtung des Bleilothes macht.

Wenn man nun an zwei Orten *a* und *b*, Fig. 160, welche auf demselben Erdmeridian liegen, die Zenithdistanz eines und desselben Fixsternes zur Culminationszeit bestimmt, so ist der Unterschied der beiden Zenithdistanzen der Winkel, welchen die Richtung des Bleilothes in *a* mit der Richtung des Bleilothes in *b* macht.

So fanden Maskelyne und Hutton im Jahre 1772, dass die Bleilothe zweier Orte *a* und *b* desselben Meridians, von denen die eine auf dem nördlichen, die andere am südlichen Abhange des Berges Schehallien lag, einen Winkel von 53 Bogensecunden mit einander machten.

Durch geodätische Messungen wurde aber ferner ermittelt, dass *a* 3900 Fuss nördlich von *b* lag. Da für Schottland die Länge eines Breitengrades ungefähr 342500 Fuss beträgt, so entspricht jene Länge von 3900 Fuss einem Bogen von 41″, d. h. aus der geodätischen Messung folgt, dass *a* um 41″ nördlich von *b* liegt, oder mit anderen Worten, dass die Verticale von *a* mit der Verticalen von *b* einen Winkel von 41 Secunden macht.

Der Winkel, welchen die Bleilothe von *a* und *b* mit einander machen, ist also um 12″ grösser als der Winkel der Verticalen beider Orte; die Bleilothe von *a* und *b* sind also nicht gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet,

sie sind durch den Einfluss des Berges von der Verticalen abgelenkt, und zwar beträgt die Summe der Ablenkungen der Bleilothe in a und b 12″.

Durch eine genaue Vermessung des Berges wurde nun das Volumen des Gebirges bestimmt, woraus sich dann auch die Masse desselben mit annähernder Genauigkeit berechnen liess, da ja das specifische Gewicht des Gesteins bekannt ist, aus welchem es besteht.

Aus der Ablenkung des Bleilothes ergiebt sich aber ferner, in welchem Verhältniss die anziehende Kraft des Berges zur Gesammtanziehung der Erde steht, und da die Masse des Berges bekannt ist, so lässt sich daraus auch auf die Masse und die mittlere Dichtigkeit der ganzen Erdkugel schliessen.

Maskelyne ermittelte auf diesem Wege, dass das mittlere specifische Gewicht der Erde 4,71 sei, ein Resultat, welches der Wahrheit schon sehr nahe kam.

Wir begnügen uns hier, die Methode nur anzudeuten, welche Maskelyne anwandte, um die Masse und die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen, und zwar um so mehr, da die Berechnung auf diesem Wege eine ziemlich schwierige ist, ohne deshalb so genaue Resultate liefern zu können, wie die Methode, welche im nächsten Paragraphen besprochen werden soll.

Anwendung der Drehwage zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde. 104 Ein englischer Physiker, Mitchell, construirte eine Drehwage, mit deren Hülfe er die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen gedachte; er starb aber, ehe er zur Anstellung der Versuche kam, welche erst nach seinem Tode von Cavendish ausgeführt wurden. Der Grundgedanke des Apparates ist folgender:

An einem dünnen Metalldraht ab, Fig. 161 (a. f. S.), hängt ein horizontaler, gleicharmiger Hebel cd, welcher an seinen Enden die Kugeln f und g trägt. Dem Einfluss aller störenden Kräfte entzogen, wird die ganze Vorrichtung eine solche Stellung annehmen, dass der Draht ab ohne Torsion ist.

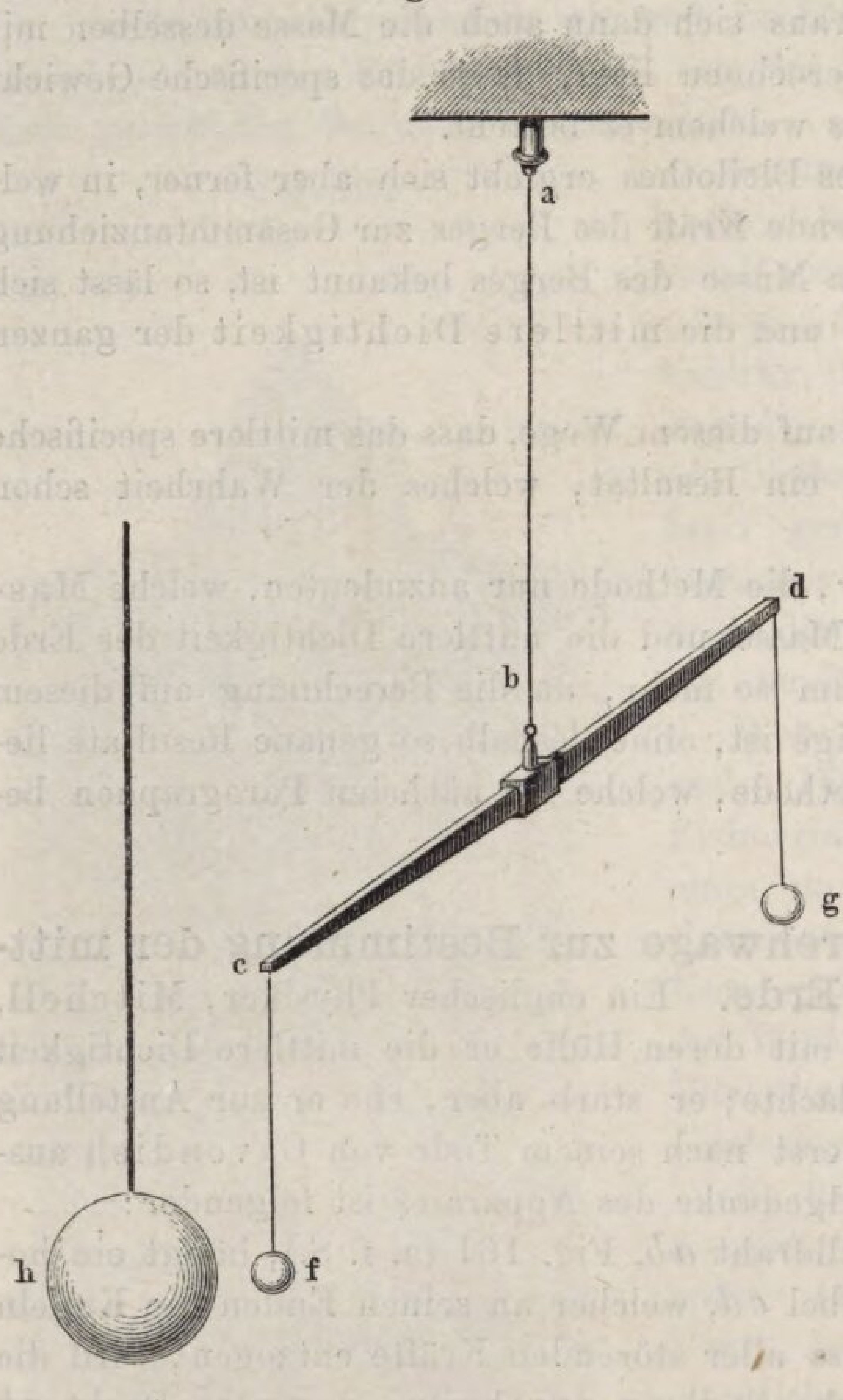
Bringt man nun neben der Kugel f eine Kugel h von bedeutender Masse an, so wird h anziehend auf f wirken, und dadurch wird der horizontale Hebel cd um einen Winkel aus seiner früheren Gleichgewichtslage heraus gedreht, welcher der anziehenden Kraft k proportional ist, mit welcher die Kugeln h und f gegenseitig auf einander wirken.

Die Grösse dieser Kraft k lässt sich aber berechnen, wenn man die Schwingungszeit kennt, mit welcher der horizontale Hebel cd um seine Gleichgewichtslage oscillirt, sobald er auf irgend eine Weise aus derselben herausgebracht worden ist.

Aus dem Verhältniss der Kraft k zu dem Gewichte m der Kugel f (der Kraft, mit welcher die ganze Erdkugel die Kugel f anzieht) ergiebt sich dann das Verhältniss zwischen der leicht zu ermittelnden Masse M der Kugel h und der Masse Q der Erdkugel.

Es kommt also vor allen Dingen darauf an, die Ablenkung des horizontalen Hebels durch die Einwirkung der Kugel *h*, sowie die Schwingungszeit des horizontalen Pendels *cd* mit möglichster Genauigkeit zu ermitteln; jeder Luftzug wirkt aber störend sowohl auf die Ablenkung als auf die Schwingungszeit, und deshalb muss die ganze Vorrichtung in ein möglichst enges Gehäuse eingeschlossen und an einem Orte aufgestellt sein, an welchem möglichst wenig Temperaturschwankungen stattfinden.

Fig. 161.



Das hölzerne Gehäuse, welches die Drehwage einschliesst, hat ungefähr die Gestalt von Fig. 162. In *AB* befindet sich der Aufhängedraht, *CD* schliesst den horizontalen Hebel ein und in den verticalen Armen *CF* und *DG* befinden sich die Kugeln *f* und *g* mit ihren Aufhängedrähten. Das Ganze ist nur so weit, dass dem Hebel *cd* der nöthige Spielraum für die kleine durch *h* hervorgebrachte Ablenkung und die kleinen Schwingungen bleibt.

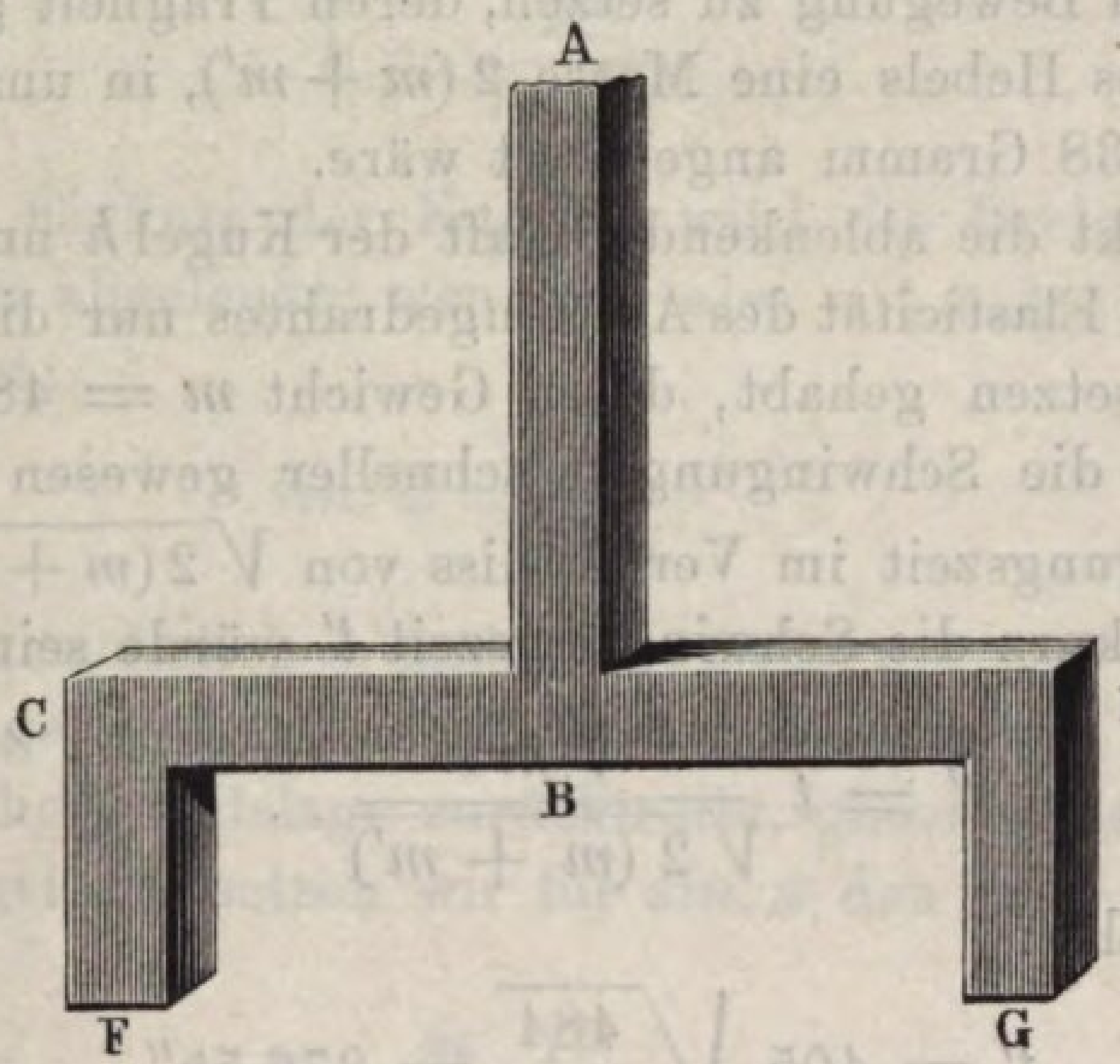
An einigen Stellen ist die Wand des Gehäuses durchbrochen, die Oeffnungen aber sind dann wieder durch Platten von Spiegelglas geschlossen, durch welche hindurch man den Hebel und seine Oscillationen beobachten kann.

Cavendish wandte ausser der ablenkenden Masse *h* noch eine zweite, neben der Kugel *g* hängende an, welche die Wirkung der ersteren unterstützt; aus seinen, nach der eben angedeuteten Methode angestellten Versuchen ergab sich für die mittlere Dichtigkeit der Erde der Werth 5,48 oder nach Hutton's Revision der Rechnungen 5,32.

Im Jahre 1837 stellte F. Reich neue Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage an. Eine wesentliche Verbesserung des Apparates erzielte er dadurch, dass er ihn mit einer

Poggendorff'schen Spiegelvorrichtung versah, welche auch Gauss mit so grossem Vortheil bei seinem Magnetometer angewandt hatte. Der

Fig. 162.



Spiegel war am unteren Ende des Aufhängedrahtes bei *b*, Fig. 161, angebracht. Die ganze Drehwage war an der Decke eines Kellers aufgehängt und die Scala durch eine Lampe mittelst eines Hohlspiegels erleuchtet.

Die Grössen, deren Kenntniss zur Berechnung der Masse und Dichtigkeit der Erde nothwendig sind, waren beim Reich'schen Apparat:

Abstand des Aufhängepunktes der Kugeln *f* und *g* von der Mitte des Hebels	$r = 100{,}1^{cm}$
Jede der Kugeln *f* und *g* wog	$m = 484{,}2^{gr}$
Das auf den Aufhängepunkt der Kugel reducirte Gewicht des halben Hebels sammt dem Gewichte der Aufhängevorrichtung	$m' = 34{,}7^{gr}$
Abstand der Scala vom Spiegel	$\mu = 4523^{mm}$
Gewicht der ablenkenden Kugel *h*	$M = 45006^{gr}$

Diese Kugel *h* war aus Blei verfertigt, während die Kugeln *f* und *g* aus einer Composition von Blei und Wismuth bestanden.

Ferner ist:

Der Halbmesser der Erde	$R = 636462400^{cm}$
Die Länge des Secundenpendels für Freiberg . .	$l = 99{,}4^{cm}$

Bei einer der von Reich angestellten Beobachtungsreihen ergaben sich folgende Resultate:

Der Abstand des Mittelpunktes der Kugel *h* vom Mittelpunkt der Kugel *f* war	$E = 17^{cm}$
Die auf der Scale abgelesene Ablenkung der Drehwage	$B = 7{,}156^{mm}$
Die Schwingungszeit der Drehwage	$t = 405''$.

Aus diesen Daten lässt sich nun die Masse und die mittlere Dichtigkeit der Erde in folgender Weise berechnen.

Bei den Schwingungen der Drehwage hat die Elasticität des Drahtes eine träge Masse in Bewegung zu setzen, deren Trägheit gerade so wirkt, als ob am Ende des Hebels eine Masse $2(m + m')$, in unserem Falle also eine Masse von 1038 Gramm angehängt wäre.

Nun aber wirkt die ablenkende Kraft der Kugel h nur auf die kleine Kugel f. Hätte die Elasticität des Aufhängedrahtes nur diese eine Kugel f in Bewegung zu setzen gehabt, deren Gewicht $m = 484{,}2$ Gramm beträgt, so würden die Schwingungen schneller gewesen sein, und zwar würde die Schwingungszeit im Verhältniss von $\sqrt{2(m + m')}$ zu $\sqrt{m}$ abgenommen haben, kurz die Schwingungszeit t' würde sein:

$$t' = t\,\frac{\sqrt{m}}{\sqrt{2\,(m + m')}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

in unserem Falle also:

$$t' = 405\,\sqrt{\frac{484}{1038}} = 276{,}55''.$$

Dies ist also die Schwingungszeit eines einfachen, 100,1 Centimeter langen Pendels, welches unter dem Einfluss der Elasticität des Aufhängedrahtes schwingt.

Für ein einfaches Pendel von gleicher Länge, welches unter dem Einfluss der Schwere schwingt, würde die Schwingungszeit gewesen sein:

$$t'' = \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{l}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

in unserem speciellen Falle:

$$t'' = \frac{\sqrt{100{,}1}}{\sqrt{99{,}4}} = 1{,}0035 \text{ Secunden.}$$

Für zwei gleichlange einfache Pendel verhalten sich aber bei gleichem Ausschlagswinkel die beschleunigenden Kräfte, welche die Kugel in die Gleichgewichtslage zurücktreiben, umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten. Bezeichnen wir die beschleunigende Kraft, mit welcher die Elasticität des Aufhängedrahtes die Drehwage in ihre Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt, mit k, mit K aber die Kraft, mit welcher die Kugel eines gewöhnlichen Pendels gegen seine Gleichgewichtslage getrieben wird, so haben wir:

$$k : K = t''^2 : t'^2,$$

also:

$$k = K\,\frac{t''^2}{t'^2}$$

oder:

$$k = K \,.\, \frac{r}{l \,.\, t^2} \,.\, \frac{2\,(m + m')}{m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

wenn man für t' und für t'' ihre Werthe bei 1) und 2) setzt. Setzt man für t' und t'' die für unseren speciellen Fall berechneten Zahlenwerthe, so kommt:

$$k = \frac{K}{75945}.$$

Durch den Einfluss der Kugel h wird die Drehwage um B Theilstriche der Scala abgelenkt; wenn wir also mit x den Ablenkungswinkel bezeichnen, so ist:

$$sin.\, x = \frac{B}{2\mu}.$$

Wenn ein gewöhnliches einfaches Pendel um den Winkel x aus seiner Gleichgewichtslage entfernt wird, so ist die Kraft K, welche die Kugel nach ihrer Gleichgewichtslage zurücktreibt, gleich $m \,.\, sin.\, x$, wenn m das Gewicht der Kugel ist: setzen wir für $sin.\, x$ den eben gefundenen Werth, so haben wir:

$$K = \frac{m'.\, B}{2\mu} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

also in unserem speciellen Fall, wenn für m, B und μ die oben angegebenen Zahlenwerthe gesetzt werden:

$$K = 0{,}3832 \text{ Gramm.}$$

Demnach ist auch

$$k = \frac{B \,.\, r \,.\, (m + m')}{\mu \,.\, l \,.\, t^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 5)$$

oder für unseren speciellen Fall ergiebt sich für k der Zahlenwerth:

$$k = 0{,}0000050467 \text{ Gramm.}$$

Dies ist also die Kraft, mit welcher die Kugel f durch die Kugel h auf die Seite gezogen wird, während die Kraft, mit welcher die Kugel f durch die gesammte Erde angezogen wird, gleich m ist. Denken wir uns nun die Masse M der Kugel h, sowie die Masse Q der ganzen Erde in den entsprechenden Mittelpunkten vereinigt, so haben wir zur Berechnung der Masse Q die Gleichung:

$$m : k = \frac{Q}{R^2} : \frac{M}{E^2}$$

und daraus:

$$Q = \frac{m.\, M.\, R^2}{E^2 k} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 6)$$

oder wenn man für k seinen oben bei 5) angegebenen Werth setzt:

$$Q = \frac{m.\, M.\, R^2 \mu\, l\, t^2}{E^2.\, B\, r\, (m + m')}.$$

Setzen wir aber in Gleichung 6) für k, m, M, R und E die früher

angegebenen Zahlenwerthe, so finden wir für die Masse der Erde den Werth:

$$Q = 5\,914\,500\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ Gramm}$$

oder:

118 000 Trillionen Centner.

Die mittlere Dichtigkeit der Erde findet man, wenn man die Masse Q durch das Volum der Erde, also durch $\frac{4}{3}\pi R^3$ dividirt; man findet alsdann:

$$D = \frac{3\,Q}{4\,\pi\,R^3} = \frac{3\,M.\mu\,l}{4\,\pi\,R.r} \cdot \frac{m}{m+m'} \cdot \frac{t^2}{E^2 B} \quad \ldots \ldots \quad 7)$$

und wenn man für die Buchstaben ihre Zahlenwerthe substituirt:

$$D = 5{,}476.$$

Aus einer grossen Reihe von Versuchen, welche Reich im Jahre 1837 anstellte, fand er als Mittel, mit Berücksichtigung aller nothwendigen Correctionen den Werth:

$$D = 5{,}44.$$

(F. Reich, Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage. Freiberg 1838.)

Im Jahre 1843 publicirte Baily in London die Resultate einer grossen Reihe von Versuchen, welche er im Auftrage der Royal Astronomical Society nach der Methode von Cavendish angestellt hatte.

Er fand die mittlere Dichtigkeit der Erde:

$$D = 5{,}66.$$

Nach dem Bekanntwerden dieses Resultates wiederholte auch Reich seine Versuche, nachdem er einige Verbesserungen in seinem Apparate angebracht hatte, und fand:

$$D = 5{,}58.$$

(Abhandlungen der mathematisch-physikalischen Classe der königl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften. Erster Band. 1852. S. 385.)

105 **Dichtigkeit der Weltkörper verglichen mit der des Wassers.** Nehmen wir aus den im vorigen Paragraphen besprochenen Resultaten das Mittel, so ergiebt sich, dass die mittlere Dichtigkeit der Erde 5,5mal so gross ist als die des Wassers.

Da nun das specifische Gewicht der Felsmassen, welche die feste Erdrinde bilden, kaum halb so gross ist, so müssen wir schliessen, dass das Innere der Erde aus Körpern von grösserem specifischen Gewichte bestehe, dass die Erde einen metallischen Kern habe.

Verglichen mit Wasser, ist die Dichtigkeit

der Sonne	1,38
des Jupiter	1,25
des Saturn	0,72
des Uranus	0,92.

Die mittlere Dichtigkeit der Sonne ist also ungefähr die des Buxbaumes, die mittlere Dichtigkeit des Jupiter ist der des Ebenholzes gleich, während Saturn und Uranus in ihrer Dichtigkeit dem Nussbaum- und Ahornholz nahe stehen.

Der Vollständigkeit wegen folgt hier noch, die Erde zur Einheit genommen, die Masse und Dichtigkeit der drei übrigen Hauptplaneten, welche keine Trabanten haben, deren Masse also auf anderem Wege bestimmt werden muss, als der ist, den wir in §. 102 kennen lernten.

	Volumen.	Masse.	Dichtigkeit.
Mercur . .	0,059	0,073	1,225
Venus . . .	0,996	0,885	0,908
Mars . . .	0,136	0,132	0,972

Setzen wir die Dichtigkeit des Wassers gleich 1, so ist die Dichtigkeit

des Mercur 6,7
der Venus 5,0
des Mars 5,3.

Unter allen Planeten ist also Mercur der dichteste, nach ihm die Erde. Mars und Venus stehen der Erde in Beziehung auf mittlere Dichtigkeit sehr nahe.

Grösse der Schwerkraft auf der Oberfläche der Sonne 106
und der Planeten. Nach §. 101 ist $V = f\,\frac{m}{\varrho^2}$ das Maass für die Schwerkraft auf der Oberfläche eines Weltkörpers, wenn ϱ den Halbmesser und m die Masse desselben bezeichnen.

Setzen wir die Schwerkraft auf der Oberfläche der Erde gleich 1; nehmen wir ferner die Masse der Erde zur Masseneinheit, den Radius derselben zur Längeneinheit, so wird auch $f = 1$, und wir haben alsdann für die Schwerkraft auf der Oberfläche irgend eines anderen Weltkörpers

$$V = \frac{m}{\varrho^2},$$

wenn m und ϱ in den eben bezeichneten Einheiten ausgedrückt werden. So ist der Radius des Jupiter 11,5mal so gross als der Erdhalbmesser, und die Masse des Jupiter ist 340mal so gross als die Masse der Erde; folglich ist für Jupiter

$$V = \frac{340}{11{,}5^2} = 2{,}57.$$

Auf diese Weise ergeben sich für die Sonne, den Mond und die Planeten folgende Werthe für die Schwerkraft auf ihrer Oberfläche:

Namen der Himmelskörper.	Schwere auf der Oberfläche.	Fallraum der ersten Secunde.
Sonne	28,30	424,5 Fuss
Mercur	1,15	17,2 „
Venus	0,91	13,6 „
Erde	1,00	15,0 „
Mars	0,50	7,5 „
Jupiter	2,57	38,5 „
Saturn	1,09	16,3 „
Uranus	1,05	15,7 „
Mond	0,16	2,4 „

Die Masse eines Centners, auf die Oberfläche der Sonne gebracht, wird also dort auf ihre Unterlage einen Druck ausüben, welcher gleich ist dem Druck von 28,3 Centnern auf der Erdoberfläche, während dagegen auf dem Monde die gleiche Masse nahezu 5mal weniger stark auf ihre Unterlage drückt als auf der Erde. Es würde ungefähr gleiche Anstrengung erfordern, um auf der Erde die Masse von 50 Pfunden, auf der Sonne die Masse von 2 Pfunden, oder auf dem Monde die Masse von 250 Pfunden zu tragen.

107 **Die Störungen.** Nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz ist die Sonne, wie dies bereits angedeutet wurde, nicht mehr ein absolut fester Punkt, und wäre ausser der Sonne nur noch ein einziger Planet vorhanden, so würde der Planet sowohl wie die Sonne um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt eine Ellipse beschreiben. Dieser gemeinschaftliche Schwerpunkt wird dem Mittelpunkte der Sonne um so näher liegen, je kleiner die Masse des Planeten im Vergleich zu dem der Sonne ist, so dass also die Ellipse, welche der Mittelpunkt der Sonne zu beschreiben hätte, sehr klein wäre im Vergleich zu der vom Planeten beschriebenen. Mag man aber die Bewegung des Planeten nun auf den gemeinschaftlichen Schwerpunkt oder auf den Mittelpunkt der Sonne beziehen, so würde seine Bahn eine rein elliptische sein, so lange nur ein einziger Planet die Sonne umkreiste.

So verhält sich aber die Sache nicht. Die Sonne wird von vielen Planeten umkreist, und jeder dieser Planeten wird nicht allein von der Sonne, sondern zugleich von allen übrigen angezogen. Daraus folgt nun,

dass die Bewegung eines jeden Körpers im Planetensysteme weit verwickelter ist, als wir bisher angenommen haben. Weil aber die Masse der Sonne die Masse der Planeten so bedeutend übertrifft, so ist die wahre Bahn jedes Planeten doch nur sehr wenig von der rein elliptischen abweichend.

Die Kepler'schen Gesetze sind demnach nur als Annäherungsgesetze zu betrachten, welche nahezu die wahre Bewegung der Planeten darstellen, aber doch noch Differenzen von derselben zeigen, welche glücklicherweise nicht gross genug waren, um Kepler an der Auffindung seiner einfachen Gesetze zu hindern.

Die Anziehungen, welche ein Planet von Seiten aller übrigen erfährt, werden ihn also nur sehr wenig von der elliptischen Bahn entfernen, welche er ohne dies verfolgen würde; die Modificationen, welche auf diese Weise in der Planetenbewegung hervorgebracht werden, nennt man Störungen (Perturbationen).

Um die Untersuchung dieser verwickelten Bewegung zu erleichtern, nimmt man einen eingebildeten (fictiven) Planeten an, welcher sich in einer elliptischen Bahn bewegt, deren Elemente eine allmälige Aenderung erleiden, während dann der wahre Planet bald auf der einen, bald auf der anderen Seite dieses fictiven Planeten oscillirt, ohne sich zu weit von demselben zu entfernen.

Die allmäligen Veränderungen in den Elementen der elliptischen Bewegung des fictiven Planeten nennt man seculare Störungen, die Oscillationen des wahren Planeten aber auf die eine oder andere Seite des fictiven werden periodische Störungen genannt. Die allmälige Aenderung der Schiefe der Ekliptik, das langsame Fortrücken des Periheliums der Planeten sind solche seculare Störungen, welche die Beobachtung nachgewiesen hat und von welchen die Theorie der allgemeinen Schwere vollständige Rechenschaft giebt.

Eines der merkwürdigsten Resultate, zu denen man geführt wurde, indem man die Störungen der Planetenbahnen zu berechnen suchte, ist das, dass die grossen Axen der elliptischen Bahnen, auf welchen sich die fictiven Planeten bewegen, stets dieselben Werthe beibehalten. Die secularen Störungen afficiren alle Elemente der elliptischen Bewegung mit Ausnahme der grossen Axe, welche stets dieselbe bleibt. Da die Umlaufszeit eines Planeten durch das dritte Kepler'sche Gesetz mit der Länge der grossen Axe verknüpft ist, so hat die Unveränderlichkeit der grossen Axe auch die Unveränderlichkeit der Umlaufszeit zur Folge.

Die Excentricität und die Neigung der Planetenbahnen erleiden allmälig fortschreitende Veränderungen. Obgleich nun aber diese Aenderungen Jahrhunderte hindurch in demselben Sinne vor sich gehen, so sind sie dennoch periodisch, wenngleich diese Perioden von sehr langer Dauer sind, so dass weder die Excentricitäten noch die Neigungen der Planetenbahnen über gewisse ziemlich enge Gränzen hinaus ab- oder zunehmen.

In der Gesammtheit der eben angedeuteten Resultate in Betreff der grossen Axen, der Excentricitäten und der Neigungen der Planetenbahnen besteht das, was man die Stabilität des Weltsystems nennt.

Die Störungen, welche ein Planet auf die übrigen und namentlich auf diejenigen ausübt, deren Bahnen der seinigen zunächst liegen, sind natürlich von ihrer Masse abhängig, und so kommt es, dass man aus den durch einen Planeten erzeugten Störungen auf seine Masse schliessen kann. Dies ist nun auch der einzige Weg, auf welchem sich die Masse derjenigen Planeten ermitteln lässt, welche nicht von Trabanten umkreist sind. Es ist begreiflich, dass die aus den Störungen abgeleiteten Werthe der Massen der Planeten nicht den Grad der Genauigkeit haben wie diejenigen, welche man aus Vergleichung ihrer Trabanten berechnet.

108 **Entdeckung des Neptun.** Bouvard fand 1821, dass die von Herschel gemachten Beobachtungen des Uranus sich nicht mit denjenigen Bahnelementen in Uebereinstimmung bringen liessen, welche sich aus den Beobachtungen von 1781 bis 1820 ergeben; aber auch später wich Uranus wieder merklich von der Bahn ab, welche er nach den von Bouvard berechneten Tafeln hätte durchlaufen sollen. Aus den Beobachtungen von 1833 bis 1834 hat Airy nachgewiesen, dass der Radius Vector für diese Jahre von den Tafeln um eine Grösse abweiche, welche die Entfernung des Mondes von der Erde übertrifft.

Daraus ergiebt sich nun, dass die Bahnelemente des Uranus verschieden ausfallen, je nachdem man sie aus verschiedenen Beobachtungsperioden ableitet.

Schon Bouvard zeigte, dass sich diese Abweichungen nicht auf die von Jupiter und Saturn herrührenden Störungen zurückführen liessen, und dass man zu ihrer Erklärung einen noch jenseits des Uranus um die Sonne kreisenden Planeten annehmen müsse.

Mädler sagte in dieser Beziehung schon in der ersten Auflage seiner „populären Astronomie“, welche im Jahre 1841 erschien:

„Wenn man beim Saturnslaufe die Störungen des Uranus nicht berücksichtigte, so würde man ganz ähnliche Abweichungen finden, und wenn man sehr genaue Saturnsbeobachtungen aus einer langen Reihe von Jahren besessen hätte, so würde es möglich gewesen sein, durch analytische Combinationen den Uranus theoretisch zu entdecken, bevor ihn Herschel aufgefunden hätte, vorausgesetzt, dass alle anderen störenden Massen hinreichend genau bekannt und gehörig in Rechnung gebracht worden wären.

„Es liegt nun nahe, diesen Schluss vom Saturn auf Uranus um ein Glied weiter zu übertragen und auf einen jenseits des Uranus laufenden und diesen störenden Planeten zu schliessen: ja man darf die Hoffnung aussprechen, dass die Analysis einst diesen höchsten ihrer Triumphe feiern und durch ihr geistiges Auge Entdeckungen in den Re-

gionen machen werde, in welche das körperliche Auge bis dahin einzudringen nicht vermochte."

Diese Hoffnung ist bald auf das Glänzendste in Erfüllung gegangen.

Nachdem sich Leverrier von Neuem überzeugt hatte, dass man durch die bekannten Planeten die Störungen des Uranus nicht erklären könne, unternahm er es, den Ort und die Masse des noch unbekannten Planeten zu berechnen, welcher die fraglichen Abweichungen veranlasse.

Adams in Cambridge bearbeitete gleichzeitig denselben Gegenstand, ohne dass Einer von den Bestrebungen des Anderen Kenntniss hatte. Beide Gelehrte gelangten ganz unabhängig von einander zu demselben Ziele, indem sie den Ort am Fixsternhimmel bestimmten, wo der neue Planet zu suchen sei. Ihre Resultate stimmen fast ganz genau überein.

Leverrier publicirte indess seine Arbeit früher als Adams. Am 23. September 1846 erhielt Galle in Berlin die Nachricht von dem Resultat der Leverrier'schen Rechnungen, und es gelang ihm in der That, indem er das Fernrohr nach der bezeichneten Stelle des Himmels richtete, den gesuchten Planeten aufzufinden, welcher alsbald den Namen Neptun erhielt.

Störungen der Kometen. Die Kometen erleiden, wenn sie in 109
die Nähe von Planeten kommen, so grosse Störungen, dass ihre Umlaufszeit dadurch bedeutend vergrössert oder verkleinert, ja dass ihre Bahn so verändert wird, dass sie mit ihrer vorherigen Gestalt gar keine Aehnlichkeit mehr hat.

Ein merkwürdiges Beispiel der Art liefert uns der Komet von 1770. Er hatte sich der Erde bis auf 360 000 Meilen genähert, und die beobachteten Orte wichen so sehr von einer parabolischen Bahn ab, dass man für ihn eine elliptische Bahn zu berechnen suchte. In der That genügte den Beobachtungen eine Ellipse, deren grosse Axe 3,14 Erdweiten betrug, bei einer Umlaufszeit von 5 Jahren 209 Tagen.

Aber weder vorher noch nachher ist dieser Komet wieder beobachtet worden. Wenn man für die erwähnte elliptische Bahn rückwärts rechnet, so ergiebt sich, dass der Komet im Mai 1767 dem Jupiter so nahe war, dass die Wirkung dieses Planeten momentan stärker als die der Sonne sein musste; erst durch diese Einwirkung wurde der Komet in die Bahn gebracht, in welcher man ihn 1770 beobachtete, während er bis dahin eine ganz andere Bahn verfolgt hatte. In seiner neuen Bahn kam der Komet im Jahre 1776 abermals ins Perihelium, konnte aber nicht beobachtet werden, weil zu dieser Zeit die Sonne gerade zwischen den Kometen und die Erde zu stehen kam.

In der aus den Beobachtungen von 1770 berechneten Ellipse fortlaufend, musste aber dieser Komet im August 1779 dem Jupiter abermals sehr nahe, und zwar so nahe kommen, dass er zwischen dem Planeten und dem vierten Satelliten hindurchging. In dieser Nähe musste er

vom Jupiter eine 24mal stärkere Wirkung erfahren als von der Sonne, und dadurch wurde er wieder vollständig aus der Bahn gebracht, die er seit 1767 verfolgt hatte, weshalb er denn auch im Jahre 1781 nicht wieder beobachtet wurde, wo man eine sichtbare Wiederkehr desselben hätte erwarten können, wenn er nicht durch jene Störungen aus der Bahn von 1770 wäre abgelenkt worden.

Nach den früher bestimmten Bahnelementen sollte die Rückkehr des Halley'schen Kometen gegen Anfang des Jahres 1758 stattfinden. Nach Clairaut's Rechnungen hatte er aber seit seinem letzten Erscheinen bedeutende Störungen erlitten, und nach denselben war seine Rückkehr durch den Jupiter ungefähr um 518, durch Saturn um 100 Tage verzögert worden, so dass sie erst in der Mitte des April 1759 zu erwarten war. In der That ging der Halley'sche Komet am 12. März 1759 durch das Perihelium.

Während also einerseits die Kometen sehr bedeutende Störungen durch die Planeten erfahren, hat man bis jetzt noch keine Störungen nachweisen können, welche die Planeten durch Kometen erlitten hätten, woraus sich ergiebt, dass die Masse der Kometen sehr klein im Vergleich zu der Masse der Planeten sein muss.

Wäre z. B. der Komet von 1770 an Masse der Erde gleich, so müsste er in seiner Erdnähe solche Störungen hervorgebracht haben, dass das Erdjahr dadurch um fast 3 Stunden verlängert worden wäre. Es ist aber nicht die mindeste Verlängerung der Jahresdauer bemerkt worden, während eine Verlängerung von 2 Secunden der Beobachtung nicht hätte entgehen können, woraus denn folgt, dass die Masse des Kometen von 1770 gewiss noch nicht $^1/_{5000}$ der Erdmasse sein kann.

110 **Störungen der Mondsbahn.** Die raschen Aenderungen, welchen die Elemente der Mondsbahn unterworfen sind (§. 69, S. 169), sind die Folge bedeutender störender Kräfte. Für den Mond ist die Erde der Centralkörper, und wenn sie nebst dem Monde allein im Raume sich befände, so würde der Mond eine Ellipse beschreiben, deren einen Brennpunkt die Erde einnimmt und deren Gestalt eben so unveränderlich sein würde wie ihre Lage im Raume. Nun aber wirkt die Sonne auf den Mond als störender Körper, und in Folge ihrer so bedeutenden Masse sind auch die Störungen, welche sie im Mondslauf hervorbringt, sehr bedeutend.

Die Erde wird ebenso wie der Mond beständig von der Sonne angezogen, und indem sie ihre Bahnen durchlaufen, fallen sie gewissermaassen stets gegen diesen Centralkörper hin. Wenn nun die Anziehungen der Sonne auf die Masseneinheit des Mondes und auf die Masseneinheit der Erde immer gleich wären, so würde der Fall beider Weltkörper gegen die Sonne hin ganz derselbe sein; ihre gegenseitige Stellung würde also dadurch nicht alterirt werden, der Mond würde ganz so um die Erde kreisen, als ob die Sonne gar nicht vorhanden wäre.

So verhält es sich aber nicht. Die Anziehung, welche die Sonne auf die Einheit der Mondmasse ausübt, ist bald grösser, bald kleiner, als die Kraft, mit welcher die Einheit der Erdmasse von der Sonne angezogen wird, und daraus gehen dann Störungen hervor, deren vorzüglichste Wirkungen wir schon früher kennen lernten.

Zur Zeit des Neumondes ist der Mond der Sonne näher als die Erde, also wird zu dieser Zeit die Einheit der Mondmasse stärker von der Sonne angezogen als die Einheit der Erdmasse, der Mond gravitirt schneller gegen die Sonne hin als die Erde, der störende Einfluss der Sonne wirkt also jetzt dahin, den Abstand des Mondes und der Erde zu vergrössern.

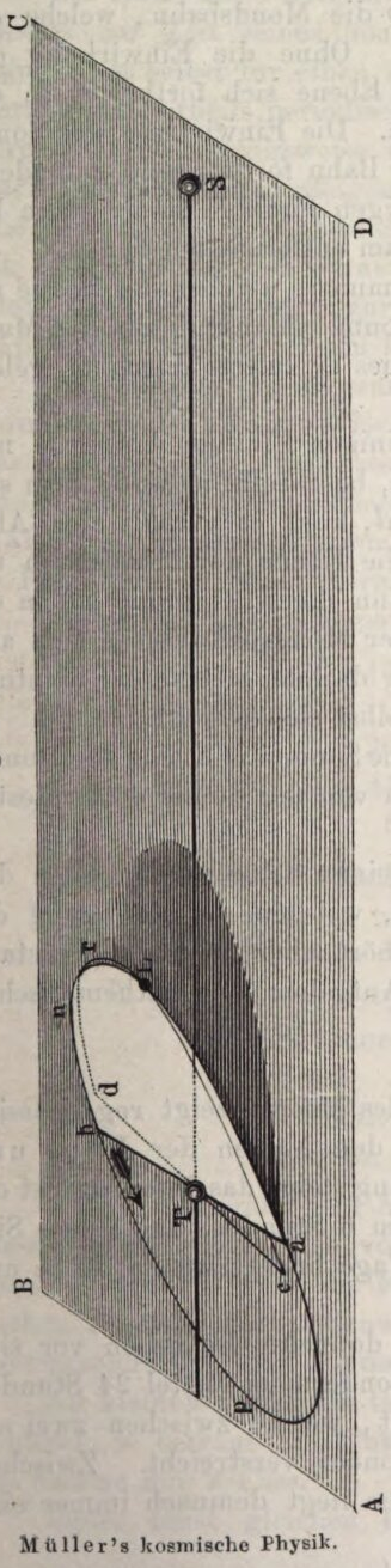


Fig. 163.

Zur Zeit des Vollmondes ist die Erde der Sonne näher, die Erde gravitirt also zu dieser Zeit stärker gegen die Sonne hin als der Mond, also auch jetzt wirkt die störende Kraft der Sonne dahin, die Entfernung der beiden Körper zu vergrössern.

Diese störende Wirkung der Sonne ist aber offenbar grösser, wenn sich die Erde in der Sonnennähe, kleiner, wenn sie sich in der Sonnenferne befindet, die Mondsbahn muss sich desshalb etwas zusammenziehen, während die Erde sich vom Perihelium zum Aphelium bewegt, um sich dann wieder etwas auszudehnen, während die Erde den Bogen vom Aphelium bis zum Perihelium durchläuft.

Nach dem dritten Kepler'schen Gesetz muss aber diese Erweiterung und Zusammenziehung der Mondsbahn auch ein periodisches Ab- und Zunehmen der Umlaufszeit des Mondes zur Folge haben; die Umlaufszeit des Mondes muss also ungefähr zur Zeit des Wintersolstitiums etwas grösser sein, als zur Zeit des Sommersolstitiums.

Diese periodische Aenderung in der Umlaufszeit des Mondes, welche den Namen der **jährlichen Gleichung** führt, war bereits schon von **Tycho de Brahe** beobachtet worden. In der That ist die

siderische Umlaufszeit des Mondes zu Anfang des Jahres ungefähr um $^1/_4$ Stunde grösser als in der Mitte des Jahres.

Wir wollen nun noch versuchen, so weit es auf elementarem Wege möglich ist, verständlich zu machen, wie durch den störenden Einfluss der Sonne der Rückgang der Knoten der Mondsbahn bewirkt wird.

Es stelle $ABCD$, Fig. 163, ein Stück der Ebene der Erdbahn dar; S sei die Sonne, T die Erde, $aLbp$ die Mondsbahn, welche die Ekliptik in der Knotenlinie ab schneidet. Ohne die Einwirkung der Sonne würde der Mond stets in derselben Ebene sich fortbewegen, die Knotenlinie würde also unverändert bleiben. Die Einwirkung der Sonne äussert aber ein Bestreben, die Ebene seiner Bahn fortwährend zu ändern, namentlich wenn der Mond sich in denjenigen Punkten seiner Bahn befindet, welche der Sonne am nächsten und am entferntesten liegen.

In dem Punkte L seiner Bahn angekommen, welcher der Sonne am nächsten liegt, strebt die Einwirkung der Sonne offenbar dahin, den Mond aus der durch T und das Bogenstück, welches er zuletzt durchlief, gelegten Ebene herauszubringen.

Statt dass der Mond unter dem alleinigen Einfluss der Erde nun den Bogen Lnb zurückgelegt haben würde, beschreibt er unter dem störenden Einfluss der Sonne den Bogen Lrd, kurz es verhält sich Alles so, als ob unter dem Einflusse der Sonne die Ebene der Mondsbahn um die Linie LT gedreht würde, wodurch dann die Knotenlinie ab in die Lage cd gebracht wird; die Knotenlinie der Mondsbahn muss sich also in der Ebene der Ekliptik in einer Richtung drehen, welche der Richtung entgegengesetzt ist, in welcher der Mond selbst sich bewegt.

Ganz in der gleichen Richtung strebt die Sonne die Ebene der Mondsbahn zu drehen, wenn sich derselbe in dem von der Sonne entferntesten Theile seiner Bahn befindet.

So giebt denn das Gesetz der allgemeinen Schwere von allen den verschiedenen Ungleichheiten Rechenschaft, welchen die Bewegung des Mondes unterworfen ist; ohne Zweifel gehört aber dieser Gegenstand zu den schwierigsten und verwickeltsten Aufgaben der mathematischen Analysis.

111 **Ebbe und Fluth.** Die Oberfläche des Meeres zeigt regelmässige und periodische Oscillationen, welche unter dem Namen der Ebbe und Fluth bekannt sind. Ungefähr 6 Stunden lang steigt das Meer, das ist die Fluth; dann fällt es wieder in den nächsten 6 Stunden, und dieses Sinken wird die Ebbe genannt. An jedem Tage findet zweimal Ebbe und zweimal Fluth Statt.

Der Zeitraum, innerhalb dessen diese doppelte Oscillation vor sich geht, ist jedoch nicht genau 24 Stunden, sondern im Mittel 24 Stunden 50 Minuten 28 Secunden, gerade die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Culminationen des Mondes verstreicht. Zwischen einem Maximum der Fluth bis zum anderen liegt demnach immer eine

Zeit von $12^h\ 25'\ 14''$. Wenn also an einem Tage die Fluth Mittags um 12 Uhr ihre grösste Höhe erreicht, so wird dasselbe am nächsten Tage um $12^h\ 50'$, am zweiten um $1^h\ 41'$, am dritten um $2^h\ 31'$ u. s. w. stattfinden, und zwischen zwei Nachmittags- oder Abendfluthen wird dann immer eine Morgenfluth in der Mitte liegen.

Die Höhe der Fluth, d. h. der Unterschied zwischen dem Niveau des Meeres zur Zeit seines höchsten und seines darauf folgenden tiefsten Standes ist selbst für einen und denselben Ort nicht unveränderlich, sondern erleidet theils periodische, theils zufällige Schwankungen. Die letzteren werden vorzugsweise durch Winde und Stürme bedingt, welche je nach Umständen das Steigen der Fluth bald begünstigen, bald hemmen. Die periodischen Schwankungen, welchen die Höhe der Fluth unterworfen ist, sind aber von den Phasen des Mondes abhängig. Die Höhe der Fluthen wird am grössten zur Zeit des Neumondes und des Vollmondes (Springfluth), sie ist am kleinsten zur Zeit der Quadraturen.

Aus alledem ersieht man, dass Ebbe und Fluth eine vorzugsweise vom Mond abhängige Erscheinung ist, und in der That tritt auch das Maximum der Fluth stets um eine bestimmte Zeit nach dem Durchgange des Mondes durch den Meridian ein; diese Zeit, welche den Namen Hafenzeit (Hafenetablissement) führt, ist von einem Orte zum anderen in Folge localer Ursachen verschieden.

So beträgt die Hafenzeit in

Cadix	1^h	$15'$	St. Malo	6^h	$30'$
Lissabon	4	0	Cherbourg	7	45
Bayonne	3	30	Calais	11	45
Brest	3	45	Vlissingen	1	0
Plymouth	6	5	Hamburg	5	0

Ebenso ist die Fluthhöhe sehr von localen Verhältnissen abhängig; im Mittelländischen Meere ist die Ebbe und Fluth kaum merklich, dagegen ist sie an den Küsten von Frankreich und England sehr bedeutend. So ist z. B. zur Zeit der Syzygien die mittlere Fluthhöhe in

Bayonne	9 Fuss,
Brest	20 „
St. Malo	36 „
London	18 „

An der Mündung des Avon (westlich von der Insel Wight) erreicht die Springfluth die Höhe von 42 Fuss. Die höchsten Fluthen auf der ganzen Erde hat wohl die Fundybai, an der südöstlichen Küste des britischen Nordamerika, aufzuweisen. Im Hintergrunde dieser Bai steigen die Springfluthen bis zu einer Höhe von 60 bis 70 Fuss.

An kleinen mitten im Ocean liegenden Inseln ist die Fluth nicht bedeutend; so beträgt die Fluthhöhe auf St. Helena nur 3, auf den Inseln der Südsee nur 2 Fuss.

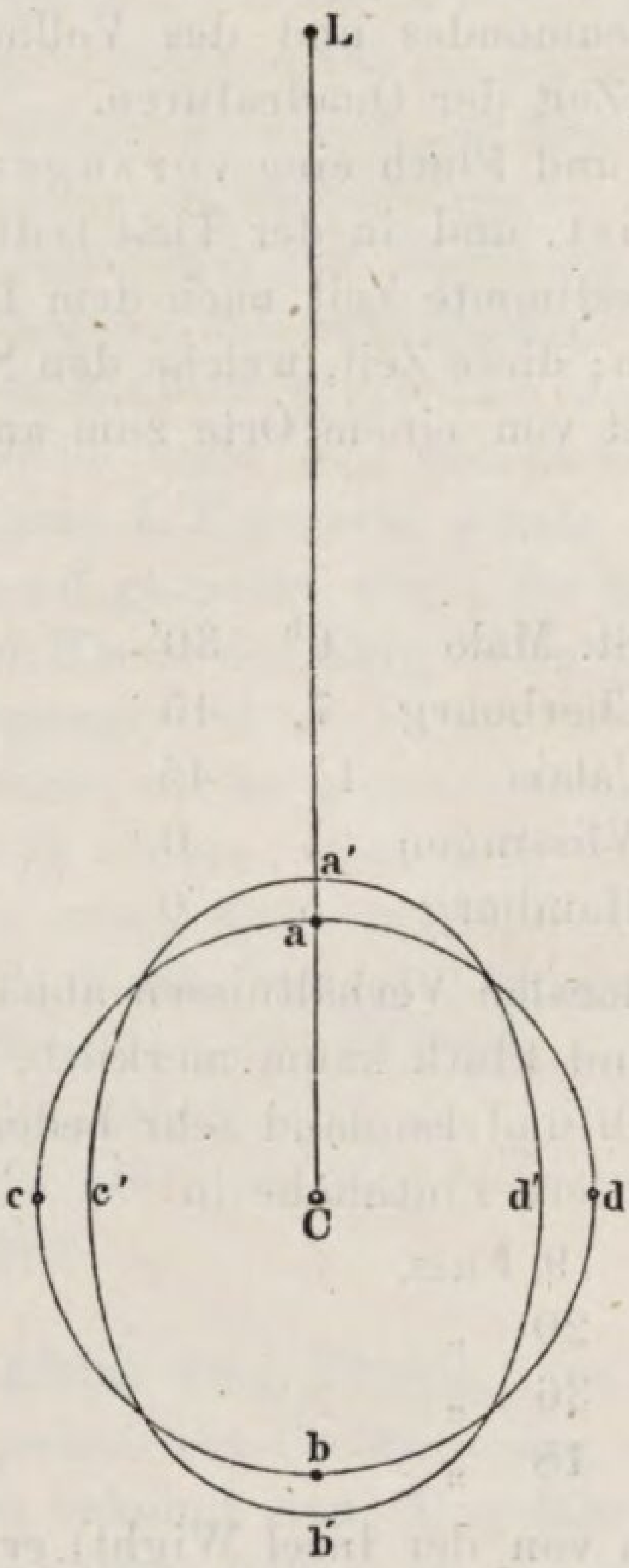
Unter sonst gleichen Umständen nimmt die Fluthhöhe von dem

Aequator nach den Polen hin ab; an der nördlichen Küste von Norwegen ist sie sehr unbedeutend.

112 **Mechanische Erklärung der Ebbe und Fluth.** Da alle Wirkungen im Planetensystem gegenseitig sind, so gravitirt nicht allein der Mond gegen die Erde, sondern auch die Erde gegen den Mond. Da aber nicht alle Punkte der Erdkugel in gleichem Abstande von dem Monde stehen, so sind sie auch ungleichen Anziehungskräften unterworfen, und daraus eben entspringt die Ebbe und Fluth.

Es sei C der Mittelpunkt der Erde (Fig. 164), L der Mond, so wird der Punkt a der Erdoberfläche stärker vom Monde angezogen werden als C, und wenn a nicht fest mit C verbunden ist, so wird a mit grösserer Beschleunigung gegen L gravitiren als C, es wird sich ein Streben zeigen, a von C zu entfernen. Wenn sich also auf der dem Monde zugewandten Seite der Erde gerade ein grosser Ocean befindet, so wird hier das Niveau des Meeres steigen.

Fig. 164.



Ganz das Gleiche findet an der von dem Monde entferntesten Stelle b der Erdoberfläche Statt. Hier in b wirkt die anziehende Kraft des Mondes geringer als in C, der Mittelpunkt der Erde gravitirt stärker gegen den Mond als b, und so wird sich auch bei den in der Nähe von b gelegenen Massen das Streben geltend machen, sich von dem Erdmittelpunkte zu entfernen.

Wäre die Erde ganz mit Wasser bedeckt, so würde die sonst kugelförmige Oberfläche derselben die Gestalt $a' c' b' d'$ annehmen; denn indem das Wasser bei a und b steigt, muss es nothwendig bei c und d sinken. Es würde also Fluth sein an den Orten, für welche der Mond im Meridian steht, sei es nun in oberer oder unterer Culmination, Ebbe aber an den Orten, für welche der Mond gerade auf- oder untergeht.

Bezeichnen wir mit d den Abstand des Erdmittelpunktes von dem Mittelpunkte des Mondes, so ist die Kraft, mit welcher die Masseneinheit in C vom Monde angezogen wird, $\frac{fm}{d^2}$, wenn m die Masse des Mondes

ist. Die Kraft, mit welcher die Einheit der Masse in a vom Monde angezogen wird, ist aber $\frac{fm}{(d-r)^2}$, wenn r den Halbmesser der Erde bezeichnet; folglich ist die Differenz der Kräfte, welche in C und a wirken:

$$D = \frac{fm}{(d-r)^2} - \frac{fm}{d^2}.$$

Entwickelt man den ersten Theil dieses Werthes, indem man die Division von fm durch $(d-r)^2$ (also durch $d^2 - 2\,dr + r^2$) ausführt, so kommt:

$$\frac{fm}{(d-r)^2} = \frac{fm}{d^2} + \frac{2fmr}{d^3} + \frac{3fmr^2}{d^4} + \text{etc.}$$

und wenn man davon $\frac{fm}{d^2}$ abzieht, so bleibt:

$$D = \frac{2fmr}{d^3} + \frac{3fmr^2}{d^4} + \text{etc.}$$

Da der Werth von d sehr gross ist im Vergleich gegen r, so kann man ohne Weiteres alle Glieder dieser Reihe vernachlässigen, welche d^4 und höhere Potenzen von d im Divisor haben; es bleibt also:

$$D = \frac{2fmr}{d^3}.$$

Nun aber bewirkt die Sonne in ganz ähnlicher Weise Ebbe und Fluth, wie der Mond, nur sind die Sonnenfluthen wegen der grösseren Entfernung der Sonne weniger hoch als die Mondfluthen. Bezeichnen wir mit m' die Masse der Sonne, mit d' ihre Entfernung von der Erde, so haben wir also für die Kraft, welche die Sonnenfluth veranlasst:

$$D' = \frac{2fm'r}{d'^3}.$$

Nun aber ist $d' = 400\ d$ und $m' = 355000 . 88 . m$ und danach ergiebt sich dann:

$$D' = \frac{2fr.m.355000.88}{d^3\,400^3} = 0{,}488\ D;$$

die Höhe der Sonnenfluthen ist also nahe halb so gross, als die Höhe der Mondfluthen. Da sich nun zur Zeit des Neu- und Vollmondes die Sonnen- und Mondfluthen summiren, so ist die Kraft, welche die Gesammtfluth veranlasst:

$$1{,}5\ D.$$

Zur Zeit der Quadraturen aber fällt die Mondfluth mit der Sonnenebbe zusammen, die Gesammtfluth erreicht alsdann die Höhe

$$D - 0{,}5\ D = 0{,}5\ D,$$

zur Zeit der Syzygien erreicht also die Fluth eine beinahe 3mal grössere Höhe, als zur Zeit des ersten und letzten Mondviertels.

Wäre die ganze Erdoberfläche mit Wasser bedeckt, so würde der Verlauf der Ebbe und Fluth ein sehr einfacher sein. Alle Punkte, welche auf demselben Meridian liegen, müssten zu gleicher Zeit Hochwasser haben; die Fluthwellen würden, von Nord nach Süd sich erstreckend, in der Richtung von Osten nach Westen fortschreiten, und zwar würde eine solche Fluthwelle den Weg um die ganze Erde in 24 Stunden zurücklegen, am Aequator also mit einer Geschwindigkeit von 225 Meilen in der Stunde fortschreiten müssen. — Ihre grösste Höhe müsste eine Fluthwelle an derjenigen Stelle eines Meridians erreichen, an welcher der Mond durch das Zenith geht.

Durch die ungleiche Vertheilung von Wasser und Land wird nun diese ideale Form der Fluthwellen, welche Whewell Isorachien nennt, durchaus verändert. Whewell hat, soweit es nach dem vorhandenen Beobachtungsmaterial möglich war, den Verlauf der Isorachien zu ermitteln gesucht, und hat sie dann in Karten eingetragen. In diesen Karten ist z. B. eine Curve durch alle Orte des Oceans gezogen, welche an einem bestimmten Tage um 1 Uhr Hochwasser haben, eine zweite, dritte, vierte u. s. w. zeigt die Stellen an, bis zu welchen das Hochwasser um 2, 3, 4 Uhr u. s. w. vorgedrungen ist.

Tab. XIV. stellt Whewell's Isorachien von 2 zu 2 Stunden dar; der unsichere Theil der Curven ist punktirt.

Man sieht hier deutlich, wie die Fluthwellen, aus dem indischen Ocean nach Westen vordringend, durch den afrikanischen Continent aufgehalten werden. Die südlich vom Cap der guten Hoffnung vorbeischreitenden Fluthwellen treten nun in südöstlicher Richtung in den Atlantischen Ocean ein, in welcher Richtung sie auch die Ostküsten von Nordamerika erreichen, während sie in südwestlicher Richtung an die Westküsten von Europa anschlagen.

Sowie die Fluthwelle in abgelenkter Richtung in den Atlantischen Ocean eintritt, so findet eine Ablenkung der Fluthwellen auch bei Seearmen und Buchten Statt; die Form der Gestade hat dann nicht allein auf die Richtung, sondern auch auf die Geschwindigkeit, mit welcher die Fluthwellen fortschreiten, einen wesentlichen Einfluss; im Allgemeinen wirkt die Nähe der Küsten verzögernd auf die Geschwindigkeit des Fortschreitens.

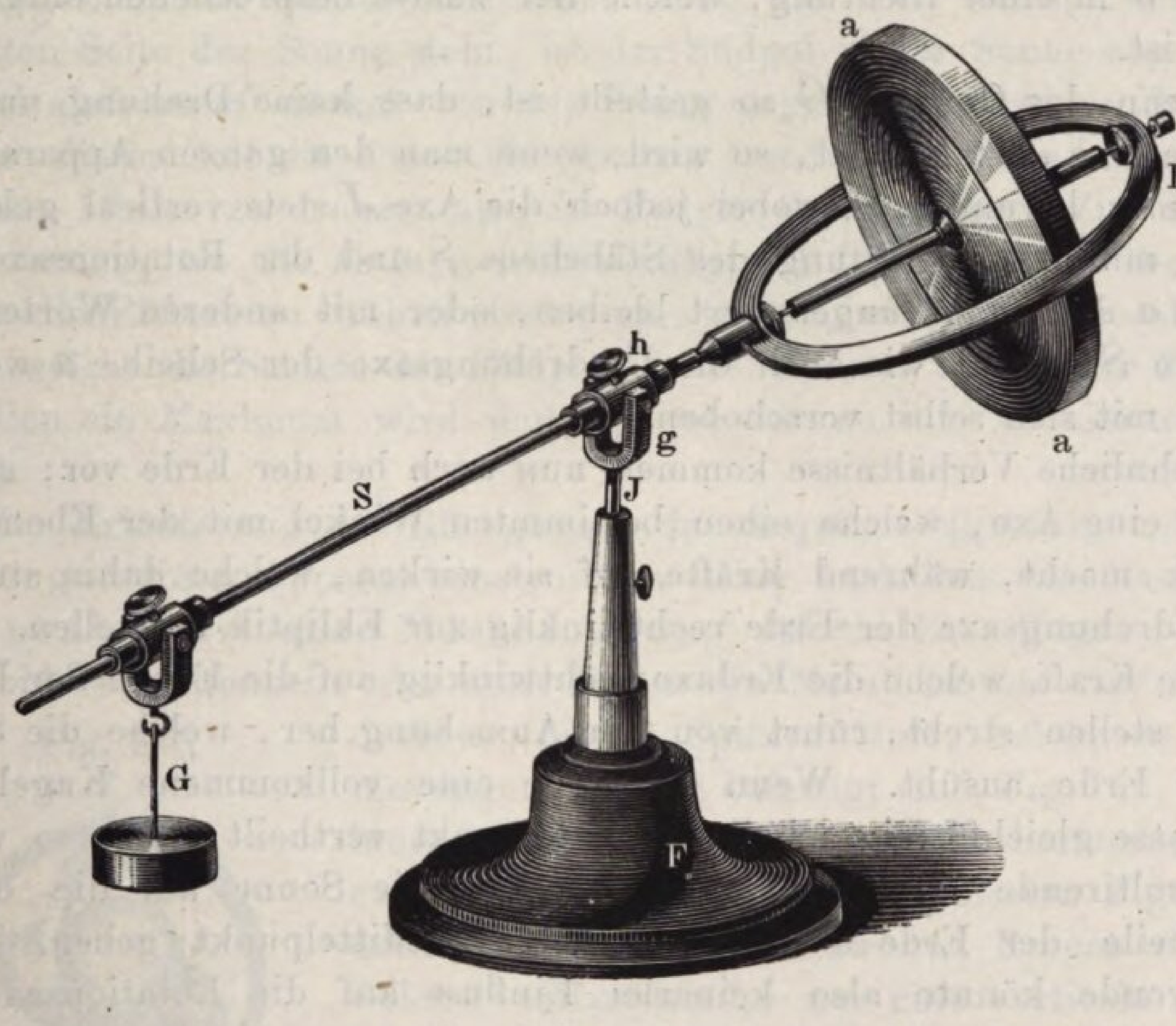
Werden in ihrem Fortschreiten die Fluthwellen in Buchten eingezwängt, dann erreichen sie, indem sie gleichsam concentrirt werden, eine ungeheure Höhe, wie wir dies an dem bereits angeführten Beispiel der Fundybai sehen.

Je nach der Configuration der Küsten wird es öfters vorkommen, dass an gewissen Stellen die Fluthwellen von verschiedenen Seiten zusammentreffen, wie dies z. B. in dem Meere zwischen England und Irland der Fall ist, wo die Fluthen von Norden und Süden her eindringen. Hier

müssen natürlich Interferenzerscheinungen eintreten, welche das Phänomen noch verwickelter machen und die auffallendsten Abweichungen vom normalen Gang bedingen.

Erklärung der Präcession. Die Erscheinung der Präcession 113
selbst haben wir bereits in §. 36 kennen gelernt; die mechanische Er-

Fig. 165.



klärung derselben ergiebt sich aus den Erscheinungen, welche in §. 113 des ersten Bandes meines Lehrbuchs (7. Auflage. S. 269) besprochen wurden. Zur Erläuterung der Präcessionserscheinung wollen wir aber zunächst noch ein Gyroskop von etwas veränderter Construction betrachten, wie solches in Fig. 165 dargestellt ist. Der Ring R, innerhalb dessen die metallene Scheibe a rotirt, ist an einem Stabe S befestigt, welcher mittelst eines horizontalen Stiftes in der Gabel g befestigt ist. Die Gabel g sitzt am Ende eines Stahlstäbchens J, dessen untere Hälfte in einer vertical stehenden Hülse steckt, so dass die ganze obere Vorrichtung um die verticale Axe J und um den horizontalen Stift in g drehbar ist.

An dem Stäbchen S ist eine Hülse verschiebbar, an welcher das Gewicht G angehängt werden kann. Denken wir uns dasselbe vor der Hand noch weg und die Metallscheibe a in Rotation versetzt, so erfolgt die Drehung des Apparates um die verticale Axe J ganz so, wie wir sie bei dem Gyroskop Fig. 336 des Lehrbuchs der Physik kennen gelernt haben. Wird ein Gewicht G angehängt, welches dem Uebergewicht der Scheibe a nur theilweise das Gleichgewicht hält, so findet die Rotation um die Axe J in unveränderter Richtung, aber mit verringerter Ge-

schwindigkeit Statt. Hat das Gewicht *G* eine solche Grösse, dass es dem Uebergewicht der rotirenden Scheibe gerade das Gleichgewicht hält, dass also keine Kraft mehr vorhanden ist, welche den Winkel, welchen das Stäbchen *S* mit der Verticalen macht, zu verändern strebt, so hört die Drehung des Apparates um die verticale Axe *J* ganz auf, wenn auch die Scheibe *a* in Rotation ist. Ist endlich das Uebergewicht auf der Seite des angehängten Gewichtes *G*, so erfolgt die Drehung des Apparates um die Axe *J* in einer Richtung, welche der zuerst besprochenen entgegengesetzt ist.

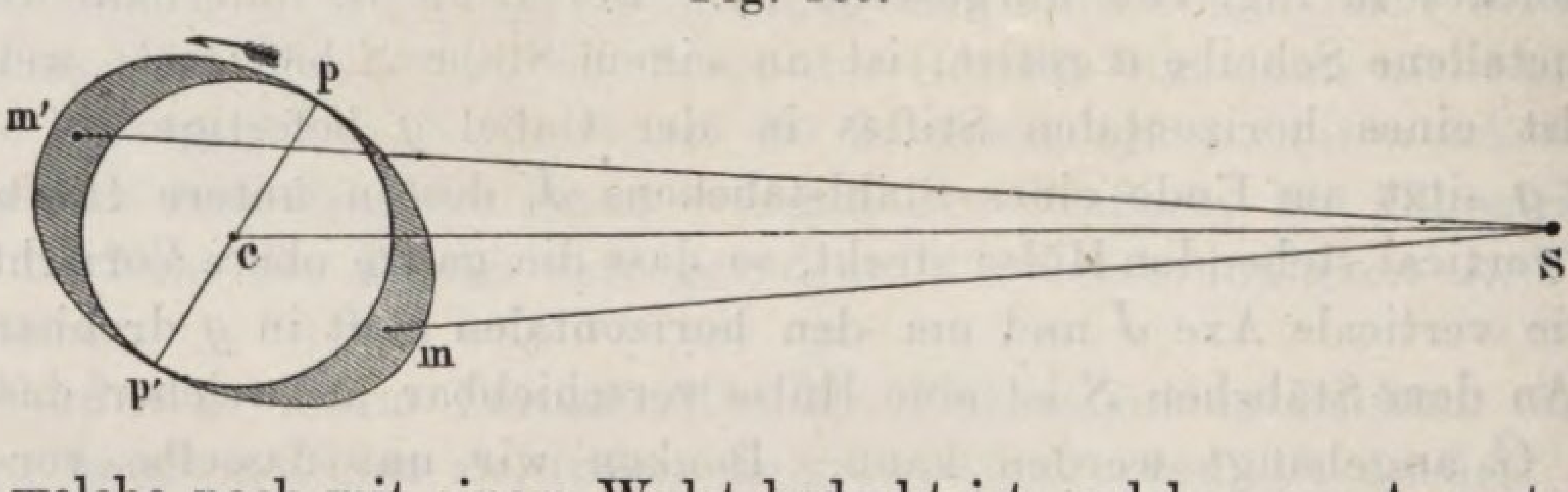
Wenn das Gewicht *G* so gestellt ist, dass keine Drehung um die verticale Axe *J* stattfindet, so wird, wenn man den ganzen Apparat frei im Zimmer herumträgt (wobei jedoch die Axe *J* stets vertical gehalten werden muss), die Richtung des Stäbchens *S* und der Rotationsaxe der Scheibe *a* doch ganz ungeändert bleiben, oder mit anderen Worten das Stäbchen *S* sowohl wie auch die Umdrehungsaxe der Scheibe *a* werden parallel mit sich selbst verschoben.

Aehnliche Verhältnisse kommen nun auch bei der Erde vor; sie rotirt um eine Axe, welche einen bestimmten Winkel mit der Ebene der Ekliptik macht, während Kräfte auf sie wirken, welche dahin streben, die Umdrehungsaxe der Erde rechtwinklig zur Ekliptik zu stellen.

Die Kraft, welche die Erdaxe rechtwinklig auf die Ebene der Ekliptik zu stellen strebt, rührt von der Anziehung her, welche die Sonne auf die Erde ausübt. Wenn die Erde eine vollkommene Kugel und ihre Masse gleichförmig um ihren Mittelpunkt vertheilt wäre, so würde die Resultirende aller Wirkungen, welche die Sonne auf die einzelnen Theile der Erde ausübt, durch ihren Mittelpunkt gehen. Diese Resultirende könnte also keinerlei Einfluss auf die Rotationsaxe der Erde ausüben, dieselbe würde stets sich selbst parallel im Raume fortschreiten.

Nun aber ist die Erde abgeplattet, und deshalb kann man sie als eine Kugel betrachten, deren Radius dem halben Polardurchmesser gleich,

Fig. 166.



und welche noch mit einem Wulst bedeckt ist, welcher, am Aequator am dicksten, nach den Polen zu abnimmt, wie dies Fig. 166 in übertriebener Weise angedeutet ist, welche die Stellung der Erde gegen die Sonne zur Zeit des Sommersolstitiums darstellt.

Betrachten wir nun die Wirkung der Sonne *S* auf den Aequatorialwulst für sich, so ist klar, dass die Kraft, mit welcher die Einheit der

Masse bei m von der Sonne angezogen wird, grösser ist als die Anziehung, welche die Sonne auf eine gleich grosse Masse bei m' ausübt; die Wirkung der Sonne auf den fraglichen Wulst strebt also dahin, die Erde in der Richtung des Pfeiles um eine Axe zu drehen, welche in der Ebene der Ekliptik liegt und senkrecht auf SC steht. Wir haben also hier in der That ein ganz ähnliches Verhältniss, wie wir es beim Kreisel und der Fessel'schen Rotationsmaschine Fig. 165 kennen lernten.

Zur Zeit des Wintersolstitiums, wenn die Erde auf der entgegengesetzten Seite der Sonne steht, ist der Südpol p' der Sonne zugekehrt; es wird alsdann m' stärker von der Sonne angezogen als m, so dass also auch zu dieser Zeit die Sonne ein Streben äussert, die Erde in der Richtung des Pfeiles zu drehen, also die Erdaxe aufzurichten. Zur Zeit der Aequinoctien, wo die Erdaxe rechtwinklig auf SC steht, ist die Kraft, welche die Erdaxe zu drehen strebt, gleich Null, wir sehen also, dass die Kraft, welche die Schiefe der Ekliptik zu verkleinern strebt, zur Zeit der Solstitien ein Maximum wird und da von bis zu den Aequinoctien abnimmt.

Zur Erläuterung des Rückganges der Aequinoctialpunkte hat Bohnenberger einen Apparat construirt, welcher nach ihm den Namen des „Bohnenberger'schen Maschinchens" führt. Eine Kugel oder ein Sphäroid von Elfenbein oder noch besser von Metall ist um eine Axe ab drehbar, die in Spitzen läuft, welche in einem messingenen Ringe befestigt sind, Fig. 167. Dieser innerste Ring ist wieder um eine horizontale Axe cd (der Endpunkt d ist in unserer Figur verdeckt) innerhalb eines zweiten Ringes drehbar, welcher selbst wieder um eine verticale Axe fg innerhalb des äussersten auf einem Postamentchen befestigten Ringes gedreht werden kann. Auf diese Weise ist die Kugel sowohl wie ihre Umdrehungsaxe vollkommen frei beweglich.

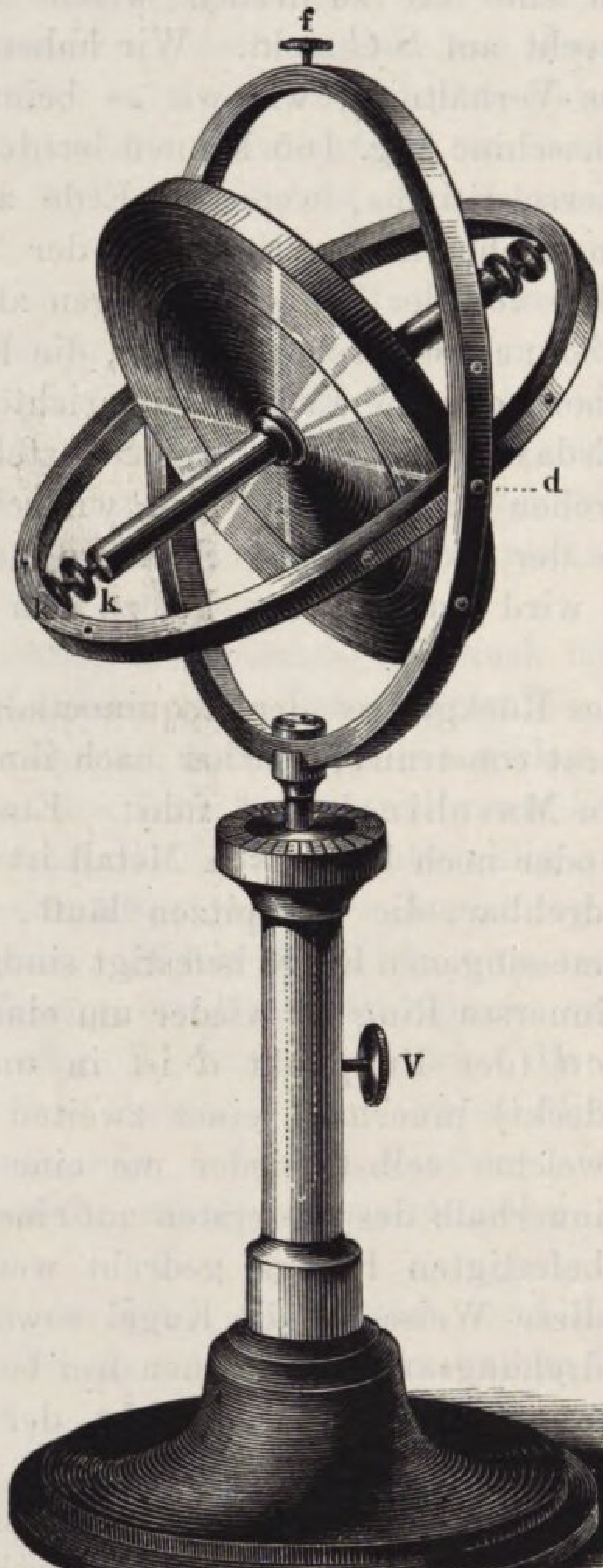
Fig. 167.



Ist das Gleichgewicht der Kugel und des innersten Ringes so hergestellt, dass ihr Schwerpunkt auf die Axe cd fällt, dass also keine Kraft vorhanden ist, welche eine Drehung um die Axe cd zu bewirken strebt, so wird die Axe ab ihre Stellung im Raume unverändert beibehalten, wenn man die Kugel in rasche Rotation um diese Axe versetzt hat, wie man auch den ganzen Apparat, am Fussgestell haltend, herumtragen und drehen mag. Sobald aber ein kleines Uebergewicht bei b angebracht wird, ist jetzt eine Kraft vorhanden, welche den innersten Ring sammt der Kugel um die Axe cd zu drehen strebt, und zwar so, dass die Axe ab aufgerichtet und a dem Punkte f, b dem Punkte g genähert werden würde, wenn die Kugel nicht rotirte. Ist aber die Rotation der Kugel hinlänglich rasch, so bleibt trotz des Uebergewichtes bei b die Neigung der Axe ab gegen fg un-

verändert, während dagegen eine Drehung der Kugel sammt ihrer Rotationsaxe um die Axe *fg* stattfindet.

Fig. 168.



Es treten also hier ganz dieselben Verhältnisse ein, wie bei der Rotation der Erdaxe, nur mit dem Unterschiede, dass die Kraft, welche die Axe *ab* aufzurichten strebt, beim Bohnenberger'schen Apparate stets gleich stark wirkt.

Fig. 168 stellt eine veränderte Form des Bohnenberger'schen Apparates dar.

Achtes Capitel.

Ortsveränderungen der Fixsterne.

Fortschreitende Bewegung einzelner Sterne am Fixsternhimmel. 114 Wir haben bisher den Fixsternhimmel als den unveränderlichen Hintergrund betrachtet, auf welchem wir die Bahnen der Sonne, des Mondes, der Planeten und Kometen projicirt erblicken. Zwar haben wir bereits gesehen, dass die Länge sämmtlicher Gestirne in Folge des Rückganges der Aequinoctialpunkte fortwährend zunimmt, dass auch die Breite derselben in Folge der Nutation veränderlich ist; dass also weder die Erdaxe noch die Ebene der Erdbahn eine unveränderliche Lage im Weltraume haben. Bei alledem könnten aber doch wenigstens die Fixsterne unter sich eine absolut unveränderliche Stellung gegen einander haben; allein auch das ist nicht der Fall, obgleich die hierher gehörigen Verschiebungen so gering sind, dass sie erst nach Verlauf von Jahrhunderten eine namhafte Grösse erreichen, und in kürzeren Zeiträumen nur durch Beobachtungen von der äussersten Genauigkeit nachgewiesen werden können.

Halley suchte zuerst eine solche Ortsveränderung am Sirius, Arcturus und Aldebaran darzuthun, und in der That steht gegenwärtig Arcturus um $2^1/_2$ Vollmondbreiten von der Stelle entfernt, welche er zu Hipparch's Zeiten einnahm.

Seitdem man überhaupt die Sternörter genauer zu bestimmen im Stande ist, hat man eine solche langsam fortschreitende Ortsveränderung auch noch für andere Sterne nachgewiesen; zunächst geschah dieses von W. Herschel, welcher seine eigenen Beobachtungen mit denen Flamsteed's verglich, und namentlich durch Bessel's und Argelander's Vergleichung von Bradley's Sternpositionen für 1755 mit neueren Sternkatalogen.

Diejenigen Sterne, an welchen man bis jetzt die grösste eigene Bewegung beobachtet hat, sind:

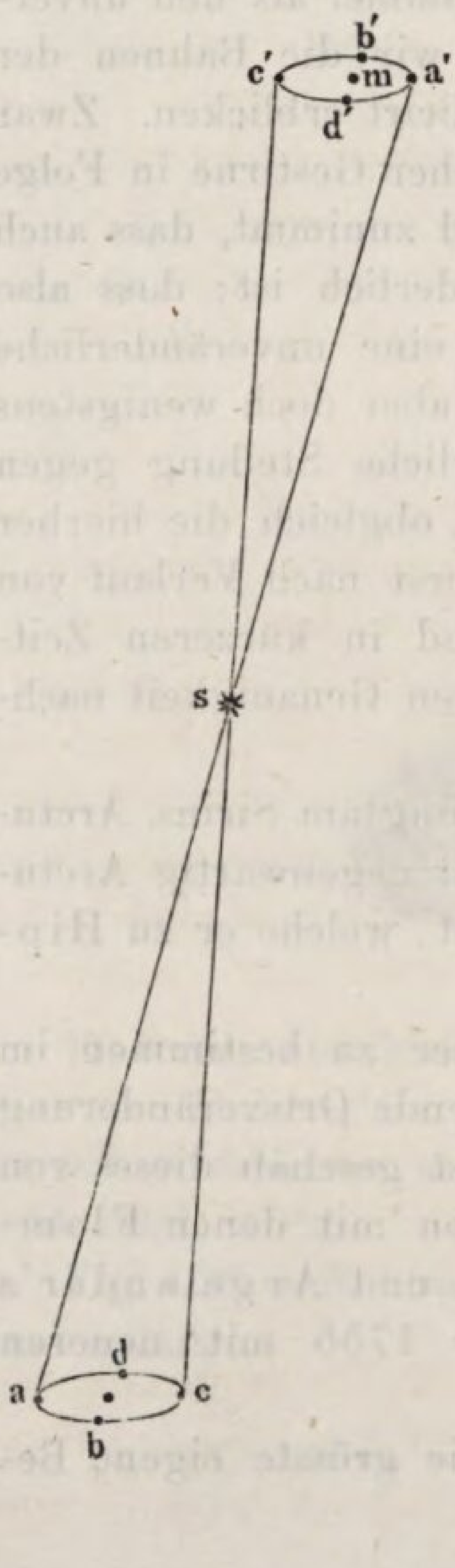
2151 Puppis des Schiffes, sechster Grösse, mit einer fortschreitenden Bewegung von 7,87 Secunden jährlich; ε Indi, erleidet eine jährliche Verschiebung von 7,74″, und ein Stern siebenter Grösse auf der Gränze der Jagdhunde und des grossen Bären, Nr. 1830 des Katalogs der Circumpolarsterne von Groombridge eine solche von 7 Secunden. Auf diese folgen:

61 Cygni,	Doppelstern	5. 6^m	5,12″ jährlich,
δ Eridani,	„	4. 5^m	4,08 „
μ Cassiopeiae,		6^m	3,74 „
α Centauri,		1^m	3,58 „
α Bootis,		1^m	2,25 „

Nach 3000 Jahren werden ungefähr 20 Sterne sich um mehr als 1° von ihrer gegenwärtigen Stelle entfernt haben.

115 **Jährliche Parallaxe der Fixsterne.** Wenn die Lehre des Copernicus richtig ist, dass die Erde gleich den anderen Planeten die Sonne umkreise und dass die scheinbare Bewegung der Sonne am Himmelsgewölbe nur eine Folge der wahren Bewegung der Erde sei, so müssen auch die Fixsterne eine von der Ortsveränderung der Erde herrührende scheinbare Bewegung zeigen und dadurch ihre gegenseitigen Stellungen ändern. Diese scheinbaren Bewegungen der Fixsterne aber, welche ihrer Entstehung nach an eine jährliche Periode gebunden sein müssen, werden um so kleiner sein, je weiter die Fixsterne von uns entfernt sind.

Fig. 169.



Untersuchen wir nun zunächst, von welcher Art die scheinbare Bewegung der Fixsterne sein muss, welche durch die jährliche Bewegung der Erde erzeugt wird.

In Fig. 169 sei s ein Fixstern, $abcd$ die Erdbahn. Wenn sich die Erde gerade in a befindet, so sehen wir den Stern in a' an das Himmelsgewölbe projicirt; wenn die Erde nach b, c, d gelangt ist, so sind b', c', d' die Orte des Himmelsgewölbes, auf welche uns der Stern s projicirt erscheint.

Im Laufe eines Jahres beschreibt also der Fixstern in Folge der jährlichen Wanderung der Erde um die Sonne am Himmelsgewölbe scheinbar eine Ellipse $a' b' c' d'$, welche der Erdbahn, wie sie vom Stern s aus gesehen erscheint, vollkommen gleich ist.

Der Fixstern erreicht den nördlichsten Punkt seiner scheinbaren Bahn zur Zeit des Sommersolstitiums, den südlichsten zur Zeit des Wintersolstitiums. Zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums zeigt der Stern seine grösste östliche, zur Zeit des Herbstäquinoctiums seine grösste westliche Abweichung von dem mittleren Orte *m*, an welchem wir den Stern sehen würden, wenn wir uns auf der Sonne befänden.

Von einem Fixstern aus gesehen, erscheint die Erdbahn stets als eine Ellipse, welche um so mehr von der Kreisgestalt abweicht, je kleiner der Winkel ist, welchen eine von dem Fixstern zur Sonne gezogene Linie mit der Ebene der Erdbahn macht. Ist dieser Winkel ein rechter, steht also der fragliche Stern im Pol der Ekliptik, so wird die scheinbare Bahn, welche er im Laufe eines Jahres beschreibt, ein Kreis sein. Für jeden anderen Stern ist die scheinbare jährliche Bahn eine Ellipse, deren grosse Axe parallel mit der Ekliptik ist, und diese grosse Axe bleibt bei gleicher Entfernung des Fixsterns unverändert, wie weit er sich auch der Ebene der Ekliptik nähern mag, während die kleine Axe der Ellipse von dem Winkel abhängt, welchen die von dem Stern zur Sonne gezogene Linie mit der Ekliptik macht. Diese kleine Axe wird Null für alle Fixsterne, welche in der Ebene der Ekliptik selbst liegen.

Die grosse Axe der eben besprochenen Ellipse nennt man die **jährliche Parallaxe** des Fixsterns. Es ist klar, dass die jährliche Parallaxe von der Entfernung der Gestirne abhängt, dass sie grösser sein muss für die näheren, kleiner für die entfernteren Fixsterne. Betrüge die jährliche Parallaxe eines Fixsterns

1^0, so wäre seine Entfernung = 57 Halbmessern der Erdbahn,
$1'$ „ „ „ „ = 3438 „ „ „
$1''$ „ „ „ „ = 206265 „ „ „

Als **Copernicus** mit seinem neuen Weltsystem auftrat, hatte man noch keine Spur einer jährlichen Parallaxe an Fixsternen wahrgenommen; ihre gegenseitige Stellung galt für absolut unveränderlich, und die Anhänger des alten Systems verfehlten nicht, diesen Umstand gegen **Copernicus** geltend zu machen, welcher diesen Einwürfen weiter nichts entgegensetzen konnte, als dass die Entfernung der Fixsterne so gross sei, dass die jährliche Parallaxe einen für den damals erreichbaren Grad der Genauigkeit astronomischer Messungen verschwindend kleinen Werth habe.

Von nun an war das eifrige Bestreben der Astronomen darauf gerichtet, die Genauigkeit der Beobachtung möglichst zu steigern, um die jährliche Parallaxe einzelner Fixsterne zu ermitteln und dadurch nicht allein die Richtigkeit des **Copernicanischen** Systems zu beweisen, sondern auch die Entfernung dieser Fixsterne zu bestimmen.

Grösse der jährlichen Parallaxe und Entfernung der Fixsterne. **Tycho de Brahe** vervollkommnete die astronomischen Beobachtungsmethoden so weit, dass die von ihm gemachten Ortsbestim- 116

mungen der Fixsterne bis auf 1′ genau sind, und doch war aus Tycho's Beobachtungen noch keine Parallaxe der Fixsterne nachzuweisen.

Der nächste Schritt in der Entwickelung astronomischer Messungen wurde nun durch die Combination von Kreistheilungen mit einem Fernrohre gemacht, welches mit einem Fadenkreuz versehen ist. Dadurch erreichten die Beobachtungen von Flamsteed und Römer eine Genauigkeit, bei welcher die Fehlergränze auf $\frac{1}{6}$ derjenigen reducirt wurde, welche bei den Tychonischen Beobachtungen noch vorkommen konnte.

In der That beobachtete nun Flamsteed Ortsveränderungen der Fixsterne, welche aber dem Gesetze der parallactischen Bewegung nicht entsprachen, also von einer anderen Ursache als der jährlichen Parallaxe herrühren mussten.

Zunächst nahm dann Hooke (1669) diesen Gegenstand wieder auf. Um die geringsten Ortsveränderungen eines Fixsternes beobachten und messen zu können, stellte er ein mit einer Kreistheilung versehenes Fernrohr so auf, dass es nahezu nach dem Zenith gerichtet war und nur eine unbedeutende Drehung in der Meridianebene zuliess. Mit einer solchen Vorrichtung, deren Aufstellung unverändert blieb und welche zu keinem anderen Zwecke benutzt wurde, konnte man natürlich die Zenithdistanzen von Fixsternen, welche bei ihrer Culmination nahe durch das Zenith gehen, sehr genau beobachten und die geringsten Veränderungen in der Zenithdistanz eines und desselben Sternes wahrnehmen. So zweckmässig aber auch Hooke's Beobachtungsmethode war, so gelangte er damit doch zu keinem Resultate.

Im Jahre 1725 nahm Molyneux in Gemeinschaft mit Bradley die Hooke'sche Beobachtungsmethode mit ganz vortrefflichen Instrumenten wieder auf, mit welchen die Zenithdistanz eines Sternes bis auf 1″ genau bestimmt werden konnte. Zunächst wurde der Stern γ im Kopfe des Drachen zum Gegenstande einer genauen Untersuchung gewählt.

Die Beobachtung wurde zur Zeit des Wintersolstitiums begonnen, wo der Stern der Theorie zufolge den südlichsten Punkt seiner jährlichen Bahn erreicht haben musste; statt aber nun stillzustehen und dann langsam nach Norden fortzuschreiten, ergab sich, dass der Stern noch weiter nach Süden fortschritt, und erst ein Vierteljahr später die südlichste Gränze seiner Bahn erreichte. Jetzt stand γ draconis 20″ südlicher als im Anfange der Beobachtungen; nach einem halben Jahre war die Zenithdistanz wieder dieselbe wie im December, und im September befand sich der fragliche Stern 39″ nördlicher, als man ihn im März gefunden hatte.

Somit war eine bedeutende, an eine jährliche Periode gebundene Ortsveränderung des Sternes unwiderleglich nachgewiesen; allein es war nicht die gesuchte Parallaxe, sondern eine Folge der Aberration des Lichtes, welche im nächsten Buche besprochen werden soll. Durch die Aberration des Lichtes war nun, wie wir alsbald sehen werden, die Bewegung der Erde um die Sonne ebenso unwiderleglich dargethan, wie es durch die Nachweisung der Parallaxe hätte geschehen können; allein

ohne die Grösse der jährlichen Parallaxe selbst gemessen zu haben, blieb es doch unmöglich, die Entfernung der Fixsterne zu bestimmen.

Die Entdeckung der Aberration des Lichtes musste der Nachweisung einer jährlichen Parallaxe nothwendig vorausgehen; denn aus den Beobachtungen lässt sich die Parallaxe erst dann nachweisen, wenn man die Wirkungen der Aberration in Abzug bringt.

Von der Ansicht ausgehend, dass die hellsten Fixsterne uns wohl auch die nächsten sein möchten, suchte Piazzi (1805) die Parallaxe der Wega, des Aldebaran, des Sirius und des Procyon zu ermitteln, und glaubte auch eine solche aufgefunden zu haben; doch fehlt seinen Resultaten die nöthige Sicherheit, wahrscheinlich in Folge des zu häufigen Gebrauches, welchen Piazzi von seinen Instrumenten gemacht hat.

Im Jahre 1838 gelang es endlich Bessel, die Parallaxe des Doppelsterns 61 cygni, an welchem er bereits 1812 eine bedeutende eigene Bewegung nachgewiesen hatte, und von welchem sich eben deshalb vermuthen liess, dass er zu den uns näher liegenden Fixsternen gehöre, ausser Zweifel zu setzen. Bei einem wahrscheinlichen Fehler von 0,02″ ist, nach Bessel's Messungen, die jährliche Parallaxe von 61 cygni gleich 0,37 Secunden.

Die Methode, durch welche Bessel zu diesem Resultat gelangte, ist von derjenigen abweichend, welche oben angedeutet wurde. Bei der Bestimmung der Zenithdistanz können zahlreiche Fehlerquellen die Genauigkeit des Resultates beeinträchtigen, z. B. nicht vollständig genaue Einstellung des Fernrohrs, Fehler im Ablesen des Nonius, Fehler in der Theilung selbst; ungleiche Erwärmung der einzelnen Theile des Instrumentes, wodurch Spannungen und Verschiebungen hervorgebracht werden. Dazu kommt noch, dass die Beobachtungsresultate in Beziehung auf Aberration, atmosphärische Refraction u. s. w. corrigirt werden müssen.

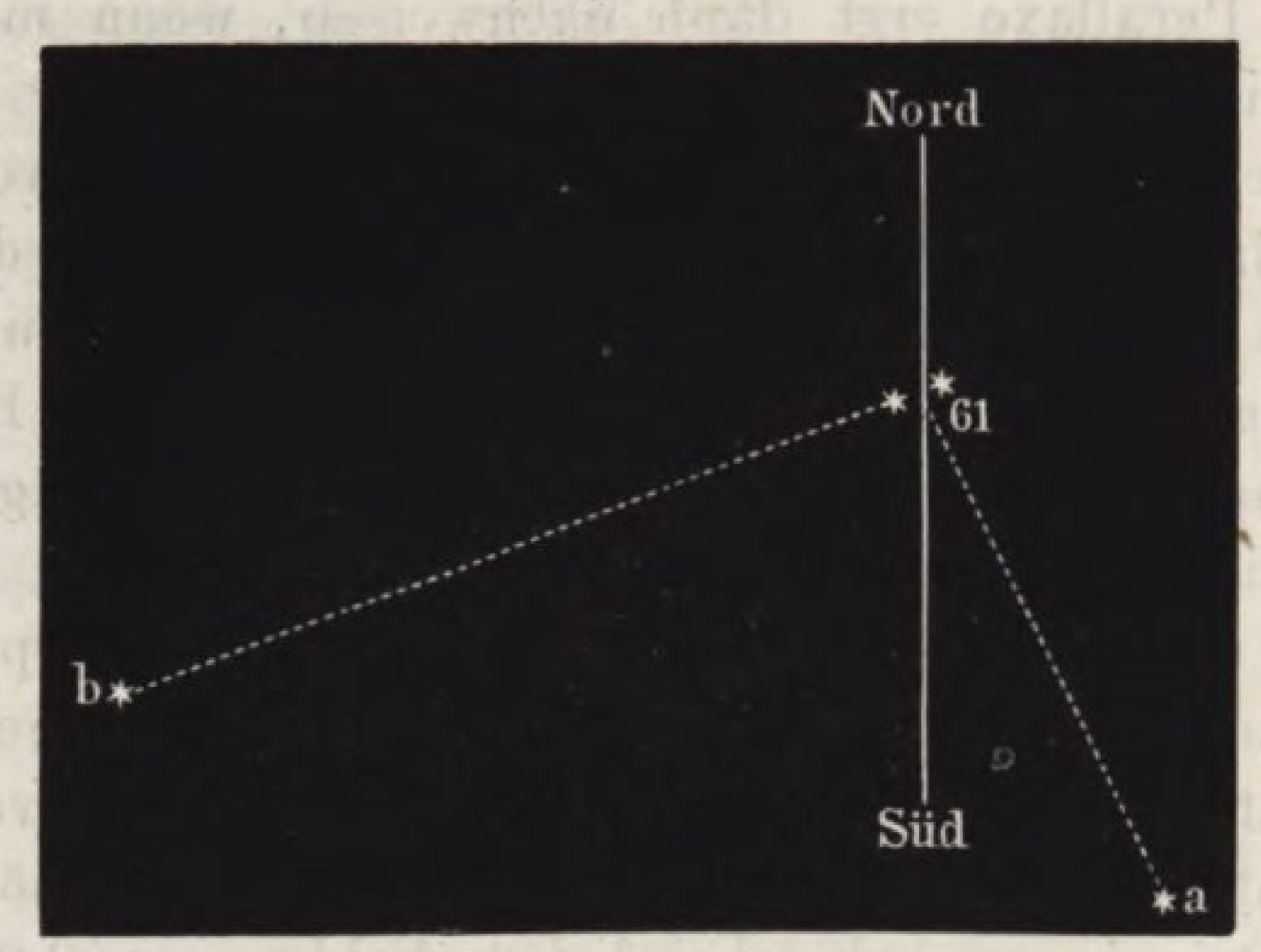
Die Methode, welche Bessel wählte, besteht darin, zu verschiedenen Zeiten des Jahres den Abstand des zu prüfenden Sternes von benachbarten Sternen mit Hülfe des auf Seite 102 beschriebenen Heliometers zu messen, welche mit ihm gleichzeitig im Gesichtsfelde des Fernrohres erscheinen. Hier sind nun die Einflüsse der Aberration und Refraction eliminirt, weil sie für beide Sterne so gut wie gleich sind, und ebenso fallen auch die übrigen oben angedeuteten Fehlerquellen weg. Man erhält auf diese Weise eigentlich nur die Differenz der jährlichen Parallaxe der beiden Sterne, deren Positionen man mit einander vergleicht, und nur, wenn man die Parallaxe des einen als verschwindend klein annehmen kann, die jährliche Parallaxe des anderen.

Fig. 170 stellt die gegenseitige Stellung des Doppelsterns 61 cygni und zweier Sterne neunter bis zehnter Grösse dar, mit deren Lage Bessel die des Doppelsternes verglich. *a* ist im Mittel nur 7′ 22″, *b* nur 11′ 46″ von dem Punkte entfernt, welcher in der Mitte der beiden Sterne 61 cygni liegt. Der Abstand dieser beiden Sterne ist in unserer Figur, der Deutlichkeit halber, doppelt so gross dargestellt, als es im

Verhältniss der Entfernung der beiden Sterne *a* und *b* eigentlich sein sollte.

Bessel hat seine Beobachtungen am 16. August 1837 angefangen und bis zum 2. October 1838 fortgesetzt. In dieser Zeit sind 85 Vergleichungen des Sternes 61, d. h. des Punktes, welcher in der Mitte zwischen beiden Sternchen liegt, mit dem Sterne *a* und 98 mit dem Sterne *b* gelungen. Jede derselben ist das mittlere Resultat mehrerer, gewöhnlich 16 in derselben Nacht gemachter Wiederholungen der Messung.

Fig. 170.



Aus diesen Messungen hat sich nun in der That herausgestellt, dass, auf den Stern *a* bezogen, 61 cygni im Laufe eines Jahres eine Ellipse beschreibt, deren halbe grosse Axe 0,37″ ist, und dass, ganz wie es die Parallaxe fordert, die Entfernung zwischen *a* und 61 cygni zu Anfange des Jahres am kleinsten, in der Mitte am grössten ist. Betrachtet man nun die Parallaxe von *a* als 0, so ist demnach die jährliche Parallaxe von 61 cygni gleich 0,37″, wie bereits oben angeführt wurde.

Durch die Vergleichung unseres Doppelsternes mit *b* ergab sich die Differenz der Parallaxe beider Sterne gleich 0,26″, woraus denn hervorgeht, dass höchst wahrscheinlich *b* selbst eine merkliche Parallaxe hat.

Nach Peters hat man bereits für 33 Sterne die jährlichen Parallaxen bestimmt; sie ist am grössten für diejenigen fünf Sterne, welche sich in der folgenden kleinen Tabelle verzeichnet finden.

Fixsterne.	Parallaxe.	Entfernung.
α Centauri	0,91″	220 000 Erdweiten.
61 cygni	0,37	550 000 „
Sirius	0,23	890 000 „
α lyrae	0,21	970 000 „
Arcturus	0,13	1 600 000 „

Der schöne Doppelstern α Centauri, nach dem Sirius der hellste Stern des Firmamentes, aber bei uns nicht sichtbar, ist demnach unter allen Fixsternen unserem Sonnensystem am nächsten. Seine Parallaxe ist

durch die von Henderson im Jahre 1832 und von Maclear im Jahre 1839 am Cap der guten Hoffnung angestellten Beobachtungen bestimmt worden.

Doppelsterne. Als man dahin gekommen war, das Auge für den Anblick des Himmels durch Fernrohre zu schärfen, bemerkte man bald, dass an mehreren Stellen, wo das freie Auge nur einen einfachen Stern wahrgenommen hatte, zwei oder manchmal noch mehr Sterne neben einander standen. Man nannte solche durch Fernrohre trennbare Punkte Doppelsterne. **117**

Bis zum Jahre 1783 hatte W. Herschel bereits 450 Doppelsterne beobachtet, deren Distanz kleiner war als 32″.

Anfangs war Herschel der Ansicht, dass das nahe Zusammenstehen solcher Sterne nur zufällig sei; als aber die Anzahl der beobachteten Doppelsterne immer mehr zunahm, wurde es höchst unwahrscheinlich, dass diese Doppelsterne, von unserem Standpunkte aus gesehen, nur eben zufällig nahe bei einander zu stehen schienen, und er gelangte nun zu der Ueberzeugung, dass die Mehrzahl der Doppelsterne in der That nicht bloss optisch einander nahe, sondern dass sie auch physisch in näherer Beziehung zu einander stehen.

Die fortgesetzte genaue Beobachtung der Doppelsterne durch mehrere ausgezeichnete Astronomen, namentlich durch Struve in Dorpat, hat nun diese Ansicht über allen Zweifel erhoben.

Struve hat bereits 2641 Doppelsterne verzeichnet, unter denen sich 113 dreifache, 9 vierfache und 2 fünffache befinden.

Gewöhnlich ist einer der beiden Sterne viel kleiner als der andere, z. B. beim Polarsterne, wo der eine ein Stern zweiter, der andere elfter Grösse ist. Bei anderen Doppelsternen dagegen sind beide einander an Grösse nahe gleich, wie z. B. bei γ arietis, wo beide Sterne fünfter Grösse sind. Castor besteht aus einem Stern dritter und einem Stern vierter Grösse. Der Doppelstern γ leonis wird durch einen Stern zweiter und einen dritter Grösse gebildet; γ virginis besteht aus zwei Sternen dritter Grösse u. s. w.

Die Doppelsterne sind ein gutes Prüfungsmittel für Fernrohre.

Den Stern Mizar, im Schwanz des grossen Bären, kann ein scharfes Auge bei sehr reiner Luft schon ohne alle Bewaffnung als einen doppelten erkennen, d. h. dicht bei dem Hauptsterne erblickt man einen kleineren, welcher Alkor oder das Reiterchen genannt wird. Schon durch ein Theaterfernrohr erblickt man Mizar und Alkor ziemlich weit getrennt, während durch Fernrohre von 50- bis 70facher Vergrösserung beide Sterne schon so weit von einander getrennt erscheinen, dass man nicht mehr versucht ist, sie als zusammengehörig anzusehen. Durch ein solches Fernrohr erkennt man aber nun den Hauptstern Mizar selbst als einen wahren Doppelstern. Um den Doppelstern γ Andromedae oder α der Jagdhunde aufzulösen, ist schon ein gutes zweifüssiges Fernrohr von 50- bis 70facher Vergrösserung nöthig. Ein vierfüssiges Fernrohr von

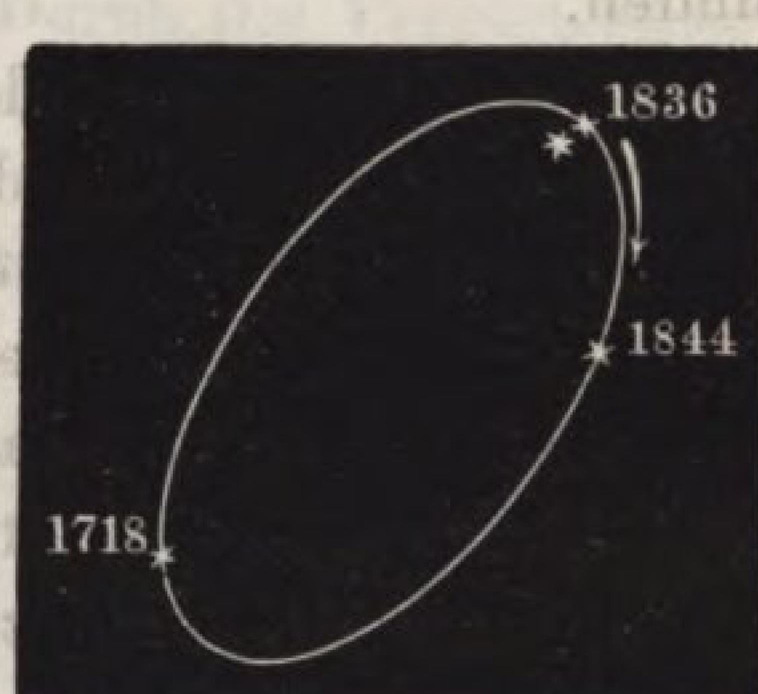
100- bis 120facher Vergrösserung löst Castor und den Polarstern auf. Um aber die beiden Sterne von γ virginis und β Orionis getrennt zu sehen, muss man schon sehr gute Instrumente in Anwendung bringen.

Wenn die Doppelsterne wirklich physische Doppelsterne sind, so werden sie auch eine gegenseitige Wirkung auf einander ausüben, sie werden ein System bilden und um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen; die Folge einer solchen Bewegung wird aber die sein, dass nicht allein die Richtungslinie, welche die beiden Sterne verbindet, ihre Lage am Himmel ändert, sondern dass auch die scheinbare Entfernung derselben variirt. Bei vielen Doppelsternen hat man nun eine solche Stellungsveränderung mit voller Gewissheit nachgewiesen.

Castor wurde seit 1729 als Doppelstern beobachtet, und seit jener Zeit hat der Begleiter bereits 100° in seiner scheinbaren Bahn um den Hauptstern zurückgelegt.

Bradley erkannte bereits im Jahre 1718 γ virginis als Doppelstern; damals betrug der Abstand der beiden Sterne 7″. Anfangs 1836 war ihre Entfernung so klein, dass sie wie ein einfacher Stern erschienen; seitdem ist aber ihr Abstand wieder gewachsen; dabei drehte sich die Richtungslinie, welche die beiden Sterne verbindet, von Südwest durch West, Nord u. s. w. seit der ersten Beobachtung um mehr als 300°. Nimmt man den einen als fest an, so ist die Bahn, welche der andere um ihn beschreibt, eine Ellipse, wie es Fig. 171 darstellt. Es sind in dieser Figur auch die Stellen bezeichnet, welche der bei der ersten Beobachtung südwestlich stehende Stern zu Anfang des Jahres 1836 und 1844 einnahm, wenn man den anderen zum Ausgangspunkte der Ortsbestimmung macht. Im Jahre 1838 war der Abstand der beiden Sterne bereits wieder 1″. Da jetzt die Entfernung der beiden Sterne noch im Wachsen begriffen ist, so wird dieser Doppelstern auch wieder leichter aufzulösen sein, als zu Anfang der 40er Jahre. Die Umlaufszeit dieses Doppelsternes beträgt 169 Jahre; im Jahre 1875 wird also die gegenseitige Stellung dieselbe sein, wie zu Bradley's Zeit.

Fig. 171.

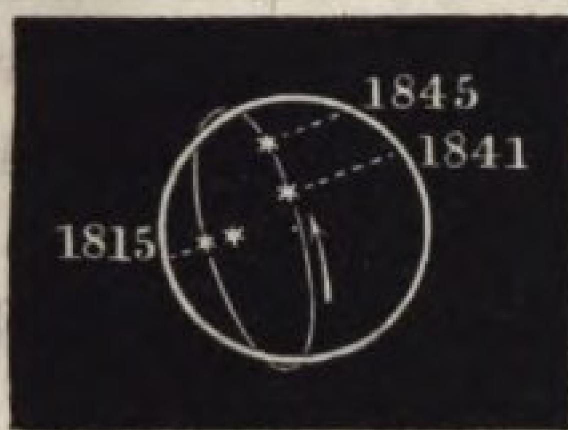


Folgende Tabelle enthält einige bereits bestimmte Umlaufszeiten von Doppelsternen:

ζ Herculis	30 Jahre
ξ ursae majoris	61 „
p Ophiuchi	74 „
α Centauri	77 „
γ virginis	169 „
Castor	153 „
σ coronae	608 „

Die Bahnen der Doppelsterne würden uns dann in ihrer wahren Gestalt, also unverkürzt erscheinen, wenn die von ihnen zur Erde gezogene Linie rechtwinklig auf der Bahnebene stände; dies ist aber fast nie der Fall, und deshalb sehen wir die Doppelsternbahnen fast immer verkürzt. So zeigt Fig. 172 die scheinbare und die aus derselben abgeleitete wahre Bahn des Doppelsternes μ coronae, dessen Umlaufszeit 42,5 Jahre beträgt.

Fig. 172.



Die Zahl der Doppelsterne, deren Bahnelemente bis jetzt ermittelt worden sind, beträgt 16. An vielen anderen hat man zwar gegenseitige Verrückungen wahrgenommen, doch reichen die Beobachtungen nicht hin, um mit einiger Sicherheit Umlaufszeit und Gestalt der Bahn daraus abzuleiten. Bei anderen hat man endlich noch gar keine Stellungsänderung bemerkt, und diese sind wahrscheinlich nur optische, nicht physische Doppelsterne.

Eine genauere Untersuchung der Doppelsternbahnen zeigt, dass sie vollkommen den Kepler'schen Gesetzen entsprechen, dass also in den entferntesten Himmelsräumen, so weit unsere Blicke nur mit Hülfe der besten Fernrohre vorzudringen vermögen, die allgemeine Massenanziehung ganz in derselben Weise die Bewegungen der Himmelskörper beherrscht, wie dies in unserem Planetensystem der Fall ist. Das Gesetz der allgemeinen Schwere erstreckt sich über die ganze Schöpfung.

Ohne Zweifel sind alle Fixsterne selbst leuchtende Weltkörper, wie unsere Sonne, und um sie kreisen wohl Planeten, welche von ihnen Licht und Wärme empfangen, wie wir von der Sonne. Auch die Doppelsterne bilden solche Systeme, welche sich aber von unserem Planetensysteme, in welchem sich nur ein Centralkörper von weitaus überwiegender Masse befindet, dadurch unterscheiden, dass sie zwei Sonnen enthalten, welche selbst um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen.

Die dunklen Planeten jener Fixsternsysteme werden wohl für immer der menschlichen Beobachtung entgehen.

Fortschreiten unseres ganzen Planetensystemes im Weltraume. Die eigenen Bewegungen der Fixsterne, welche im ersten Paragraphen dieses Capitels besprochen wurden, finden nach den verschiedensten Richtungen Statt, aber doch zeigt sich, dass die Bewegung nach einer bestimmten Richtung hin entschieden vorherrschend ist, so dass sich die meisten Fixsterne, an denen man eine solche fortschreitende Bewegung wahrgenommen hat, scheinbar einem bestimmten Punkte des Himmels nähern; am wahrscheinlichsten ist es nun, dass diese den verschiedenen Fixsternen gemeinsame Bewegung von einer in entgegengesetzter Richtung stattfindenden Bewegung unserer Sonne herrührt. Nach W. Herschel's Bestimmungen liegt der Punkt, gegen welchen sich 118

unsere Sonne sammt allen sie umkreisenden Planeten und Kometen hinbewegt, nahe beim Sternbilde des Hercules (260° 44′ Rectascension, 26° 16′ nördliche Declination), womit die Bestimmungen von Argelander, Gauss und Struve nahezu übereinstimmen. Galloway versuchte es, den Punkt des Himmels, gegen welchen sich unser Sonnensystem hinbewegt, nur aus der eigenen Bewegung von Fixsternen der südlichen Hemisphäre abzuleiten, und gelangte ebenfalls zu einem Resultate, welches sehr nahe mit dem aus nördlichen Sternen berechneten übereinstimmt (260° Rectascension, 34° 23′ nördliche Declination).

Nun ist es aber nicht wahrscheinlich, dass die fortschreitende Bewegung unseres Planetensystemes im Weltraume eine geradlinige ist, vielmehr ist wohl die innerhalb mässiger Gränzen bestimmte Richtung dieser Bewegung nur die Tangente seiner Bahn.

Nehmen wir nun an, dass unser Sonnensystem mit allen verschieden entfernten Fixsternen um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt rotire, so ist klar, dass der Mittelpunkt dieser Kreisbewegungen 90° von dem Punkte entfernt liegen müsse, gegen welchen sich unser Sonnensystem hinbewegt. Mädler sucht den fraglichen Schwerpunkt in der Plejadengruppe, und zwar nahe bei Alcyone, dem hellsten Sterne derselben.

Die Ansicht, welche man wohl früher hegte, dass unsere Sonne sammt allen ihren Planeten und Kometen selbst wieder um einen selbstleuchtenden oder dunklen Centralkörper rotire, wie Jupiter und Saturn sammt ihren Trabanten um die Sonne, gehört nur in das Reich der mythischen Hypothesen.

ZWEITES BUCH.

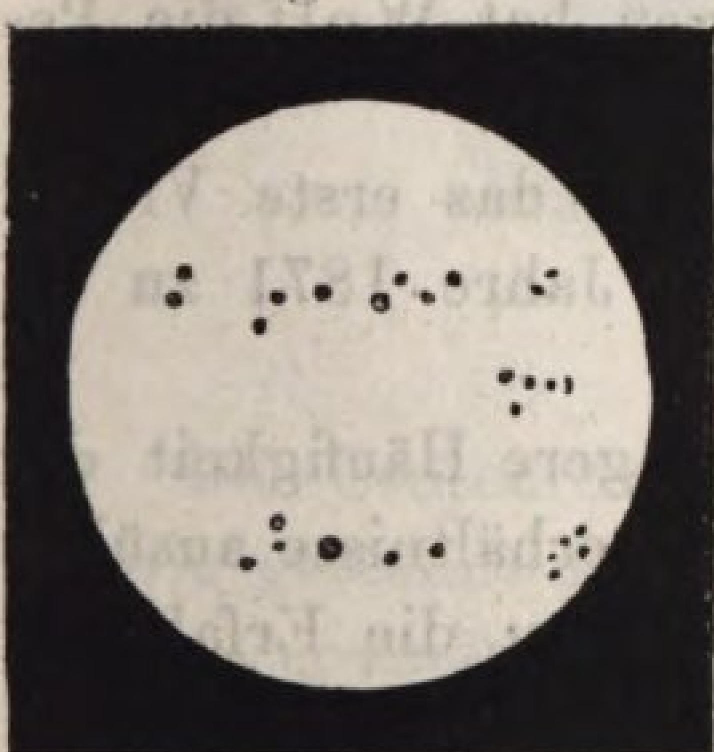
KOSMISCHE UND ATMOSPHÄRISCHE LICHTERSCHEINUNGEN.

Erstes Capitel.

Das Licht der Himmelskörper und seine Verbreitung im Weltraume.

Sonnenflecken. Wenn man die Sonne durch ein Fernrohr be- 119
trachtet, wobei man aber ihres starken Glanzes wegen ein sehr dunkelfarbiges Glas (Blendglas, Sonnenglas) vor das Ocular bringen muss, so bemerkt man auf ihrer Oberfläche bald mehr, bald weniger dunkle Flecken, ungefähr in der Art, wie es Fig. 173 zeigt. Wenn man die Beobachtung nach einigen Tagen wiederholt, so ergiebt sich, dass sie auf der Sonnenscheibe eine fortschreitende Bewegung von Ost nach West haben. Nachdem sie in der angegebenen Richtung die ganze Sonnenscheibe durchlaufen haben, verschwinden sie am westlichen Rande, um nach einigen Tagen auf der Ostseite wieder zu erscheinen.

Fig. 173.



Schon aus den Beobachtungen der Sonnenflecken, welche die ersten Entdecker derselben anstellten, ergab sich eine Rotationsdauer der Sonne von ungefähr 25 Tagen. Spörer bestimmte nach seinen höchst sorgfältig angestellten Beobachtungen die Rotationsdauer der Sonne zu 25 Tagen 5 Stunden und 38 Minuten und den Winkel, welchen der Sonnenäquator mit der Ekliptik macht, zu $6^0\,57'$.

Scheiner machte bereits darauf aufmerksam, dass die dem Sonnenäquator näheren Flecke eine kürzere Rotationsdauer ergeben, als die entfernteren, aber erst Laugier zeigte mit voller Gewissheit, dass eine Eigenbewegung der Sonnenflecke besteht. Carrington und Spörer fanden, dass die Flecken der höheren Breiten, also die vom Sonnen-

äquator entfernteren, ein Hinaufrücken nach dem nächsten Pole zeigen, während sie sich gleichzeitig mit der ganzen Sonnenkugel um deren Axe drehen.

Die Sonnenflecken sind im Allgemeinen sehr veränderlicher Natur; bald sind sie zahlreicher und grösser, dann wieder seltener und kleiner; manchmal ist die Sonne ganz fleckenfrei. — Bald sieht man neue Flecken entstehen und allmälig grösser werden, dann dieselben wieder abnehmen und allmälig verschwinden; ebenso zeigen sie stets mehr oder weniger bedeutende Formveränderungen.

Die grösseren Sonnenflecken, deren Ausdehnung oft die Oberfläche unserer Erde übertrifft, sind selbst dem unbewaffneten Auge sichtbar.

Im Jahre 1833 war die Sonne an 139, im Jahre 1843 war sie an 149 Tagen fleckenlos und es zeigten sich in diesen Jahren überhaupt, wie auch im Jahre 1834 die Flecken nur wenig zahlreich; während in den Jahren 1828 und 1829, ferner 1838 und 1839 die Sonne sehr viele Flecken zeigte und im Laufe dieser Jahre nie ohne Flecken gesehen wurde. Im Jahre 1828 erschien sogar ein mit blossem Auge sichtbarer Fleck. Nach den Beobachtungen von Schwabe in Dessau, welcher sich seit 1826 ganz speciell mit diesem Gegenstand beschäftigt hat, scheint in der Ab- und Zunahme der Flecken eine Periodicität von beiläufig 10 Jahren stattzufinden. Wolf aber hat nachgewiesen (Neue Untersuchungen über die Periode der Sonnenflecken, Bern 1852), dass auch in den zwei Jahrhunderten zwischen Fabricius, dem Entdecker der Sonnenflecken, und Schwabe die Sonnenflecken periodisch aufgetreten sind. Mit Hülfe älterer und neuerer Beobachtungen hat Wolf die Periode genauer auf $11^1/_9$ Jahr bestimmt.

Das letzte Minimum der Sonnenflecken fiel auf das erste Viertel des Jahres 1860, das nächste Maximum wird im Jahre 1871 zu erwarten sein.

Man vermuthete, dass die grössere oder geringere Häufigkeit der Sonnenflecken einen Einfluss auf unsere Witterungsverhältnisse ausüben müsse, dass fleckenreichere Jahre kühler sein müssten; die Erfahrung scheint eine solche Annahme nicht zu bestätigen, dagegen findet ein auffallender Zusammenhang zwischen den Sonnenflecken und den magnetischen Variationen statt, indem sich die magnetischen Variationen am stärksten zeigen, wenn zahlreiche Sonnenflecken vorhanden sind, während das Minimum der Sonnenflecken auch mit dem Minimum der magnetischen Variationen zusammenfällt. R. Wolf schliesst daraus, dass hier ein Causalnexus stattfinde.

Die Sonnenflecken wurden zum ersten Male von Johann Fabricius im Jahre 1611 beobachtet; Galiläi entdeckte sie im Jahre 1612. Scheiner wandte zu ihrer Beobachtung zuerst die bereits von Apian empfohlenen Blendgläser an, deren Nichtgebrauch wohl vorzugsweise Galiläi's Erblindung veranlasste.

Die physische Beschaffenheit der Sonne. Bei genauerer 120
Betrachtung der Sonnenflecken erkennt man, dass der eigentlich ganz dunkle Kern derselben gleichsam mit einem Halbschatten umgeben ist, welcher den Namen der Penumbra führt.

Fig. 174.



Die Contouren des Kerns sowohl wie der Penumbra sind unregelmässig gestaltet und meist liegen mehrere Kerne in einer gemeinschaftlichen Penumbra, wie Fig. 174 zeigt, welche eine getreue Darstellung wirklich beobachteter Sonnenflecken ist.

Durch ein farbiges Sonnenglas kann man natürlich die wahre Farbe der Sonnenflecken nicht sehen; um diese zu erkennen, erzeugte Busolt mittelst eines 6füssigen Fernrohres ein Sonnenbild auf weissem Papier oder auf einer Scheibe von feinem Gyps, welche auf eine Spiegelplatte war gegossen worden. Die Sonnenscheibe selbst erschien nun farblos, aber durchweg hellviolett gesprenkelt. Die Flecken bestanden aus dunkelvioletten Kernen, welche mit einem prächtig gelben Hofe umgeben waren.

In der Nähe der Flecken zeigen sich häufig Stellen, welche heller sind als der übrige Theil der Sonnenscheibe und welche man Sonnenfackeln nennt.

Wilson hat zuerst die Beobachtung gemacht, dass die Penumbra der Sonnenflecken beim Fortrücken gegen den westlichen Sonnenrand

auf der Ostseite des Fleckens rascher verschwindet, dass hier der Kern schärfer begränzt erscheint, als auf der Westseite. Auf diese Erscheinung gründet Herschel die folgende, auch von Arago vertretene Hypothese über die Constitution der Sonne.

Der eigentliche Kern der Sonne ist eine dunkle Kugel, welche ringsum von einer Gasatmosphäre umgeben ist. In dieser Atmosphäre schweben nun zwei wolkenartige Schichten, von denen die äussere stark leuchtende die Photosphäre genannt wird. Die innere Wolkenschicht dagegen ist entweder nur schwach leuchtend oder vielleicht auch nur durch die äussere erleuchtet.

Es erscheinen nun Sonnenflecken, so oft die Photosphäre und die untere Wolkenschicht durch irgend eine unbekannte Ursache durchbrochen werden und man durch die Oeffnungen auf den dunklen Kern der Sonne hinabsehen kann.

Denken wir uns, dass sich über der Oeffnung der unteren Wolkenschicht eine grössere Oeffnung der Photosphäre befindet, so wird man in gerader Richtung durch die beiden Oeffnungen hindurchschauend ein Stück des dunklen Kerns der Sonne sehen. Rings um diesen dunklen Fleck herum sieht man aber eine Partie der unteren, schwächer leuchtenden Wolkenschicht, welche die Penumbra bildet. Sieht man aber schräg durch diese Oeffnungen hindurch, wie es der Fall ist, wenn ein Fleck nahe am Sonnenrande erscheint, so wird auf der einen Seite der Rand der unteren Oeffnung durch den Rand der oberen gedeckt werden, so dass hier die Penumbra verschwindet, während sie auf der anderen Seite sichtbar bleibt.

Diese Vorstellung von der Beschaffenheit der Sonne steht aber im Widerspruch mit anerkannten Gesetzen der Physik und Geologie.

Wenn irgend ein glühender Körper durch Ausstrahlen erkaltet, so kann die Erkaltung nur von Aussen nach Innen fortschreiten; die äussere Hülle wird zuerst erkalten und erstarren, während der von ihr eingeschlossene Kern sich noch in feurig flüssigem Zustand befindet, wie dies z. B. für unsere Erde auf das Unzweifelhafteste dargethan ist.

Es ist demnach nicht wohl möglich, dass der innere Kern der Sonne schon zu einer dunklen Masse erkaltet sein soll, während er von einer glühenden Atmosphäre umgeben ist. Ja nehmen wir sogar an, dass ein solcher Zustand wirklich stattfände, so könnte er kein dauernder sein, weil der dunkle kalte Kern, fortwährend Wärmestrahlen von der Photosphäre erhaltend, ohne sie nach irgend einer Seite hin frei ausstrahlen zu können, sich rasch erwärmen müsste, während die Photosphäre, nach beiden Seiten Wärme ausstrahlend, bald erkalten müsste. Kurz, ein solcher Zustand könnte nur ein vorübergehender sein, während doch die Sonne schon Jahrtausende hindurch als glühender Körper ihre Strahlen in den Himmelsraum aussendet. Eine solche Beständigkeit ist nur durch die Annahme einer weissglühenden Masse von den enormen Dimensionen des gesammten Sonnenkörpers erklärlich. Eine glühende Photosphäre

würde bei ihrer geringen Masse bald ihre gesammte Wärme an den ungeheuren kalten Kern abgeben müssen.

Die ohnehin schon höchst unwahrscheinliche Herschel-Arago'sche Hypothese eines dunklen Sonnenkörpers mit glühender Photosphäre ist aber durch die Spectraluntersuchungen Kirchhoff's vollkommen unhaltbar geworden.

Ein weissglühender fester oder flüssiger Körper liefert ein vollkommen continuirliches Spectrum, während ein im Gaszustand glühender Stoff ein aus isolirten hellen Linien bestehendes Spectrum liefert. So besteht z. B. das Spectrum des glühenden Natriumdampfes aus einer einzigen gelben, das Spectrum des glühenden Strontiumdampfes aus mehreren rothen, einer orangefarbenen und einer blauen Linie u. s. w. Das in Dampfform glühende Eisen liefert ein aus über 100 hellen Linien fast aller Farben bestehendes Spectrum.

Nun hat Kirchhoff die wichtige Entdeckung gemacht, dass die prismatische Zerlegung des Lichtes, welches, von einem stark weissglühenden Körper ausgehend, durch einen im Gaszustand glühenden Stoff hindurchgegangen ist, ein Spectrum liefert, welches gerade an der Stelle durch schwarze Linien unterbrochen ist, an welchen das glühende Gas für sich selbst helle Linien liefert. So liefert z. B. das Drummond'sche Kalklicht ein continuirliches Spectrum; wenn man es aber durch eine mittelst Kochsalz intensiv gefärbte (für sich selbst farblose und schwach leuchtende) Gasflamme gehen lässt, so zeigt sich eine schwarze Linie gerade da, wo die Natriumflamme für sich allein, d. h. ohne den weissglühenden Hintergrund, eine helle gelbe Linie erzeugt hätte.

Kurz alle hellen Spectrallinien, welche durch gasförmig glühende Stoffe erzeugt werden, werden in schwarze Linien verwandelt, wenn sich hinter dem gasförmig glühenden Stoff ein weissglühender Körper befindet, dessen continuirliches Spectrum eben durch jene schwarzen Linien unterbrochen erscheint. (Vgl. mein Lehrbuch der Physik 7. Aufl. Bd. I. Seite 634 u. ff.)

Nun aber liefert uns die prismatische Zerlegung des Sonnenlichtes keineswegs als ein continuirliches Spectrum, sondern es erscheint uns durch zahlreiche dunkle Linien durchschnitten, welche unter dem Namen der Fraunhofer'schen Linien bekannt sind. Sehr viele dieser Fraunhofer'schen Linien fallen nun aber genau mit den hellen Linien zusammen, aus denen das Spectrum verschieden gefärbter Flammen besteht.

So fällt z. B. die Fraunhofer'sche Linie D genau mit der hellen gelben Linie zusammen, welche das Spectrum einer durch Kochsalz gefärbten Flamme bildet. Sämmtliche helle Linien des Eisenspectrums fallen genau mit einer gleichen Anzahl dunkler Linien des Sonnenspectrums zusammen u. s. w.

Nach diesen Thatsachen liegt es nahe, die Fraunhofer'schen Linien aus einer Umkehrung der Flammenspectren zu erklären, wie dies Kirch-

hoff in der That gethan hat. Die Fraunhofer'schen Linien zu erklären, muss man annehmen, dass der Kern der Sonne, in festem oder flüssigem Zustande befindlich, weissglühend, dass aber dieser weissglühende Kern von einer gleichfalls glühenden Gasatmosphäre umgeben sei, in welcher verschiedene Stoffe in gasförmigem Zustand verbreitet sind. Wir müssen alle Stoffe als gasförmig in der Sonnenatmosphäre vorhanden annehmen, deren Flammenspectra aus hellen Linien bestehen, welche genau mit Fraunhofer'schen Linien zusammenfallen, wie dies, wie wir gesehen haben, für das Natrium und für das Eisen der Fall ist. In gleicher Weise ergiebt sich, dass die Sonnenatmosphäre ausser Natrium und Eisen auch noch Magnesium, Calcium, Chrom u. s. w. enthält, während die Existenz von Lithium, Aluminium, Zink, Silber, Kupfer u. s. w. in der Sonnenatmosphäre nicht nachgewiesen ist, weil die diesen Stoffen entsprechenden dunklen Linien im Sonnenspectrum nicht vorkommen. (Lehrbuch Bd. I. S. 636.)

Es bleibt nun noch übrig, das Wilson'sche Phänomen, welches die Aufstellung der Hypothese vom dunklen Sonnenkern veranlasst hat, auch nach der Annahme eines glühenden Sonnenkörpers zu erklären. Schon Galiläi erklärte die Sonnenflecken für Wolken, welche in der gasförmigen Atmosphäre der Sonne schweben und als dunkle Flecken auf dem glänzenden Sonnenkörper erscheinen. Er sagt: „Wenn die Erde ein selbstleuchtender Körper wäre, so würde sie, von fern gesehen, dieselben Erscheinungen darbieten, wie die Sonne. Je nachdem die eine oder die andere Gegend sich hinter einer Wolke befände, würde man bald an der einen, bald an der anderen Stelle der scheinbaren Erdscheibe Flecken wahrnehmen; dabei würde die grössere oder geringere Undurchsichtigkeit der Wolken eine grössere oder geringere Schwächung des Erdlichtes herbeiführen. Zu gewissen Zeiten würde es wenig Flecken geben, zu anderen würde eine grosse Zahl sichtbar sein; einige würden sich zusammenziehen, andere dagegen sich weiter ausdehnen u. s. w."

Galiläi's Ansicht über das Wesen der Sonnenflecken bedarf nur einiger Modificationen, um das Wilson'sche Phänomen vollständiger und ungezwungener zu erklären, als es durch die Herschel-Arago'sche Hypothese vom dunklen Sonnenkörper geschieht. Kirchhoff giebt diese Erklärung in folgender Weise.

„In der Atmosphäre der Sonne müssen ähnliche Vorgänge stattfinden, wie in der unserigen; locale Temperaturerniedrigungen müssen dort wie hier die Veranlassung zur Bildung von Wolken geben; nur werden die Sonnenwolken ihrer chemischen Beschaffenheit nach von den unserigen verschieden sein. Wenn eine Wolke dort sich gebildet hat, so werden alle über derselben liegenden Theile der Atmosphäre abgekühlt werden, weil ihnen ein Theil der Wärmestrahlen, welche der glühende Körper der Sonne ihnen zusendet, durch die Wolken entzogen wird. Diese Abkühlung wird um so bedeutender sein, je dichter und grösser die Wolke ist, und dabei erheblicher für diejenigen Punkte, welche

nahe über der Wolke liegen als für die höheren. Eine Folge davon muss sein, dass die Wolke mit beschleunigter Geschwindigkeit von oben her anwächst und kälter wird. Ihre Temperatur sinkt unter die Glühhitze, sie wird undurchsichtig und bildet den Kern eines Sonnenfleckens. Aber auch noch in beträchtlicher Höhe über dieser Wolke findet Temperaturerniedrigung Statt; sind hier irgendwo durch die Tiefe der schon herrschenden Temperatur oder durch das Zusammentreffen zweier Luftströme die Dämpfe ihrem Condensationspunkte nahe gebracht, so wird diese Temperaturerniedrigung die Bildung einer zweiten Wolke bewirken, die weniger dicht ist als jene, weil in der Höhe der geringeren Temperatur wegen die Dichte der vorhandenen Dämpfe kleiner ist, als in der Tiefe, und die, theilweise durchsichtig, den Halbschatten bildet, wenn sie eine hinreichende Ausdehnung gewonnen hat. — — —

Jene beiden Wolkenschichten spielen bei der Theorie der Sonnenflecken, die ich vertheidige, dieselbe Rolle, wie die beiden Oeffnungen der wolkigen Atmosphäre und der Photosphäre bei derjenigen, welche ich angreife. Denkt man sich die beiden Wolken von denselben Dimensionen und an denselben Orten als die beiden Oeffnungen, so erklärt sich das Wilson'sche Phänomen nach beiden Theorien in genau gleicher Weise."

Uebrigens ist noch zu bemerken, dass das Wilson'sche Phänomen keineswegs bei allen Sonnenflecken auftritt.

Nach Zöllner sind die Sonnenflecken ungeheure Schlackenmassen, welche auf der feurigflüssigen Sonnenoberfläche schwimmen. In den über der Schlackenmasse befindlichen Theilen der Sonnenatmosphäre müssen sich aber wegen der geringeren Strahlung an dieser Stelle wolkenartige Condensationsproducte bilden, durch welche hindurch die Schlackeninsel als Kernfleck erscheint, während die Wolkenwände die Penumbra bilden.

Die Sonnenatmosphäre. Wenn während einer totalen Sonnen- 121
finsterniss die eigentliche Sonnenscheibe vollständig durch den Mond verdeckt ist, so erscheint die dunkle Mondscheibe von einem Strahlenkranze (corona) umgeben, welcher sich etwa einer Glorie (dem sogenannten Heiligenscheine) vergleichen lässt. Tab. VI. kann eine Vorstellung von dieser merkwürdigen Erscheinung geben, welche darauf hindeutet, dass der feste oder flüssige glühende Sonnenkörper noch von einer gasförmigen Atmosphäre umgeben ist.

Die sehr sorgfältig beobachtete totale Sonnenfinsterniss von 1842 lehrte noch Einzelheiten dieser merkwürdigen Erscheinung kennen, welche wohl auch früher schon bemerkt, aber nicht genügend beachtet worden war: es zeigten sich nämlich an mehreren Stellen an dem dunklen Mondrande rosenfarbene Hervorragungen (Protuberanzen), welche grosse Aehnlichkeit mit schneebedeckten Bergspitzen zeigten, die von der untergehenden Sonne beleuchtet sind.

Durch die Beobachtungen von 1842 aufmerksam gemacht, wandten mehrere Astronomen bei der totalen Sonnenfinsterniss, welche am 28. Juli 1851 im mittleren Russland, dem nördlichen Deutschland und dem südlichen Schweden stattfand, gerade auf diesen Punkt ihre Aufmerksamkeit. — Busch, Director der Sternwarte zu Königsberg, beobachtete das Phänomen gemeinschaftlich mit dem jüngeren Littrow und einigen anderen Freunden der Wissenschaft zu Rixhöft (7 Meilen nordwestlich von Danzig). Fearnley, einer der Beobachter von Rixhöft, hat nach seinen Beobachtungen eine Zeichnung entworfen, welche nach dem Zeugniss von Busch die Erscheinung sehr treu darstellt. Tab. VI. ist eine Copie dieser Abbildung. An zwei Stellen, bei *a* und bei *b*, zeigten sich blassrothe kegel- oder pinselförmige Lichtbüschel, während die eigenthümlich gestaltete Protuberanz bei *c* einen entschieden wolkenartigen Charakter zeigte. Diese durch Form und Grösse ausgezeichnete Protuberanz trat aber gerade an einer Stelle hervor, in deren Nähe man vorher auf der Sonne eine grosse von Sonnenfackeln umgebene Fleckengruppe beobachtet hatte.

Eine ähnliche Beobachtung war auch bei Gelegenheit einer im Jahre 1850 auf der Südsee sichtbaren Sonnenfinsterniss gemacht worden.

Dass die Erscheinung des Strahlenkranzes von einem zum Sonnenkörper selbst gehörigen Stoffe herrühre, dass sie nicht etwa, wie behauptet worden war, ein Interferenzphänomen sei oder von kleinen Wolkenmassen unserer Erdatmosphäre herrühre, geht schon aus einer gleichfalls von Busch gemachten Beobachtung hervor, dass während der Dauer der totalen Finsterniss die Protuberanzen auf der Ostseite fortwährend kleiner werden, indem der Mondrand sie mehr und mehr zudeckt, während umgekehrt die Protuberanzen auf der Westseite mehr und mehr hinter dem Mondrande hervorzusteigen scheinen. Dasselbe bestätigt auch Struve, welcher durch genaue Messungen dargethan hat, dass das Fortrücken des Mondrandes gegen die Protuberanzen der Geschwindigkeit entsprach, mit welcher der Mond sich über die Sonnenscheibe fortbewegte.

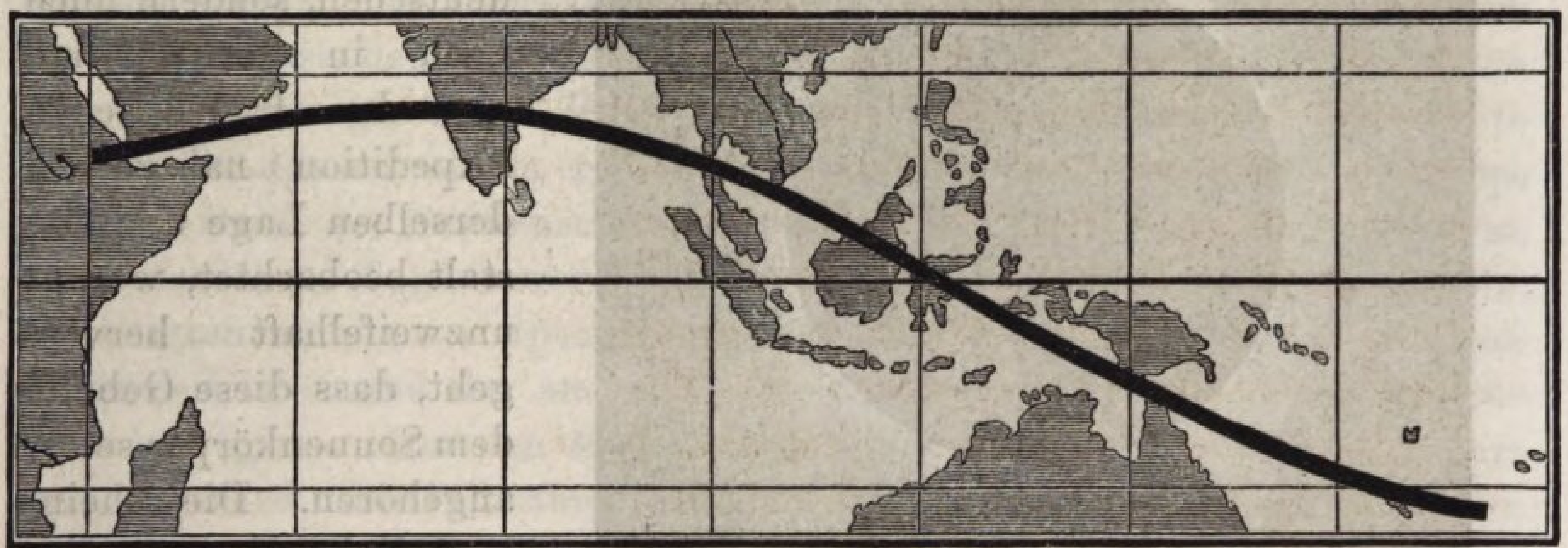
Die Beobachtung der totalen Sonnenfinsternisse, welche seitdem stattgefunden haben, hat nicht allein die Existenz einer Sonnenatmosphäre ausser Zweifel gesetzt, sondern auch die wichtigsten Aufschlüsse über die Natur dieser Atmosphäre gegeben.

Bei der vorzugsweise in Spanien sichtbaren totalen Sonnenfinsterniss von 1860 ergab sich, dass mehrere Protuberanzen zugleich an verschiedenen Orten beobachtet wurden. Alle Zweifel über die Natur der Protuberanzen wurden aber durch die Beobachtung der totalen Sonnenfinsterniss vom 18. August 1868 gehoben, welche vorzugsweise durch die Anwendung der Spectralanalyse auf die Protuberanzen von so grosser Bedeutung für die Wissenschaft geworden ist, dass wir ihr eine etwas ausführlichere Besprechung widmen müssen.

Zur Zeit dieser Finsterniss befand sich die Sonne fast in ihrer Erd-

ferne, der Mond aber in seiner Erdnähe und in Folge dessen war die Dauer der totalen Verfinsterung ungewöhnlich gross. Während die totale Verfinsterung im Jahre 1860 nur $2\frac{1}{2}$ Minuten gedauert hatte, betrug die Dauer der totalen Verfinsterung im Jahre 1868 auf der Westküste von Vorderindien 5′ 10″, an der Ostküste 5′ 45″ und erreichte im Golf von Siam ihr Maximum von 6′ 50″. Das Kärtchen Fig. 175 zeigt die Zone der Totalität, welche bei einer Breite von 30 geographischen Meilen eine Länge von 2000 Meilen hatte.

Fig. 175.



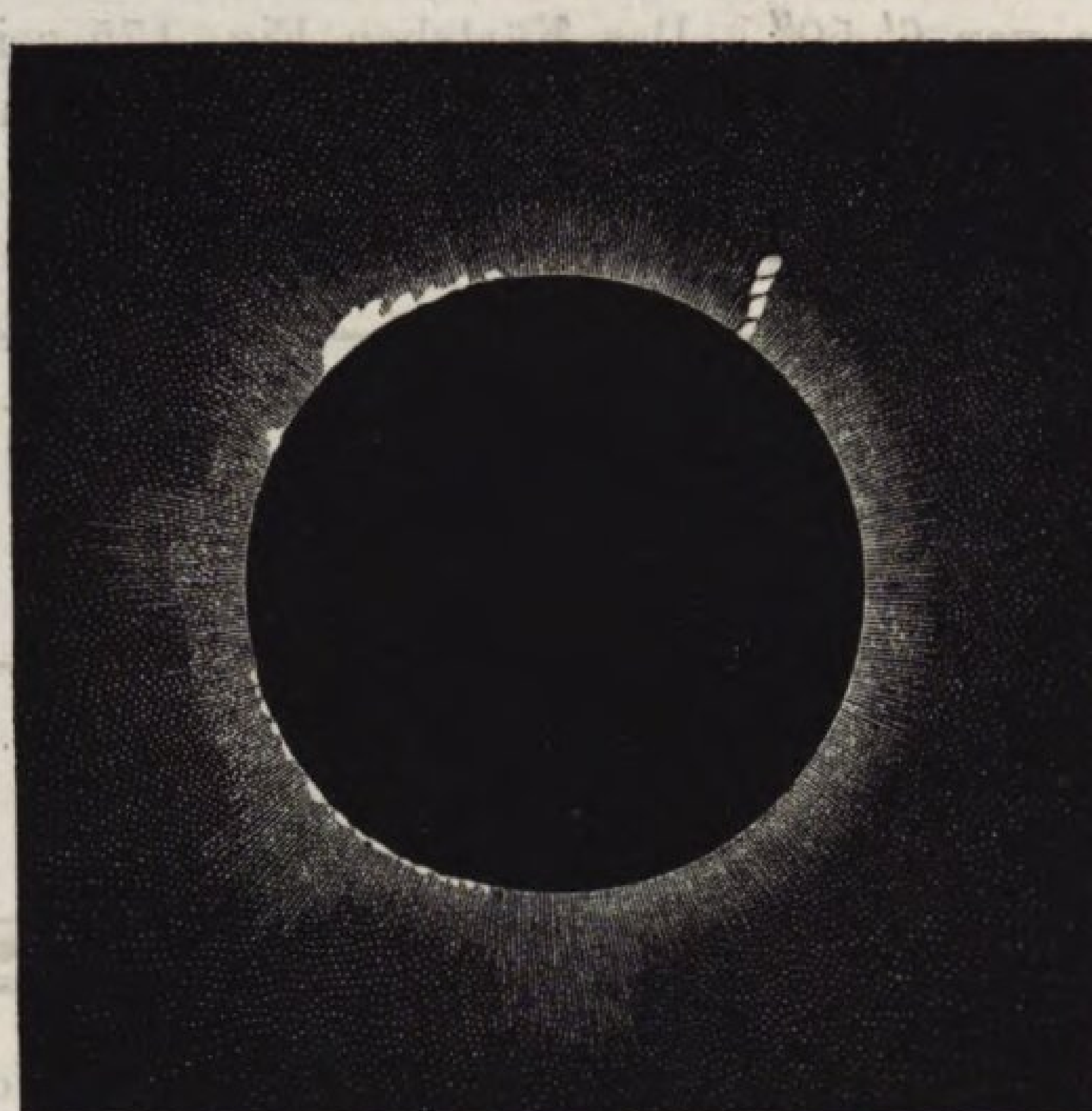
Zur Beobachtung dieser Finsterniss wurden die umfassendsten Vorkehrungen getroffen und insbesondere schickten England, Frankreich, Oesterreich und der Norddeutsche Bund besondere Expeditionen an verschiedene Punkte der Totalitätszone.

Eine norddeutsche Expedition, bei welcher sich Spörer befand, beobachtete zu Mulvar an der Westküste von Vorderindien, während die norddeutsche photographische Expedition ihre Aufstellung in der Nähe von Aden an der Südspitze von Arabien genommen hatte. In der Nähe von Aden beobachteten auch die Mitglieder der österreichischen Expedition. Englische Beobachter waren an der West- und an der Ostküste von Vorderindien placirt. An der Ostküste von Vorderindien stellte auch der französische Physiker Janssen seine ergebnissreichen Beobachtungen an, während eine andere französische Expedition ihren Standpunkt auf der Halbinsel Malacca gewählt hatte.

Leider ist die Beobachtung dieser vielversprechenden Finsterniss nicht von der Witterung begünstigt gewesen. An der Westküste von Indien, wo die Finsterniss 5 Minuten dauerte, herrschte so trübes Wetter, dass die deutsche Expedition die Sonne nur 5 Secunden lang durch eine Wolkenlücke beobachten konnte, eine Zeit, welche jedoch hinreichte, um die Lage und Dimensionen einiger Protuberanzen zu bestimmen. Auf der Ostküste Vorderindiens klärte sich der Himmel auf und gestattete umfänglichere Beobachtungen. In Aden, wo die Finsterniss um 6^h 20′ Morgens begann, herrschte zwar auch trübes Wetter, es wurde jedoch möglich, die Sonne durch die Wolken zu beobachten und mehrere gute Photographieen zu erhalten.

Fig. 176 stellt eine Totalansicht der Finsterniss dar; man erkennt in der corona deutlich mehrere Protuberanzen, von denen besonders die oben rechts besonders merkwürdig ist. Sie erscheint auf den zu Aden aufgenommenen Photographieen und wurde nicht allein 32 Minuten später zu Mulvar, also ungefähr 350 Meilen von Aden entfernt, von der deutschen, sondern auch noch in Hinterindien von der französischen Expedition nahezu in derselben Lage und Gestalt beobachtet, woraus unzweifelhaft hervorgeht, dass diese Gebilde dem Sonnenkörper selbst angehören. Die scheinbare Höhe dieser Protuberanz ist von Engländern und Franzosen gemessen und gleich 3 Minuten gefunden worden, wonach die wahre Höhe dieses Gebildes gegen 20,000 geographische Meilen betragen muss. Weiss (österr. Exped.) beobachtete diese grosse, während der Totalität der Finsterniss selbst mit blossem Auge sichtbare, in lebhaftem Carmin glänzende Protuberanz noch eine Minute lang nach dem Hervorbrechen der Sonne, bis eine Wolke sie verdeckte.

Fig. 176.



Schiffslieutenant Rziha (österr. Exped.) führte Spectralbeobachtungen aus und bemerkte beim Eintritt der Totalität ein plötzliches Verschwinden aller dunklen Fraunhofer'schen Linien. Das Spectrum der corona war ein zwar blasses, aber vollkommen continuirliches. Dass man in der corona keine hellen Linien wahrnahm, rührt offenbar nur daher, dass sie zu lichtschwach ist und man den Spalt des Instrumentes zu weit öffnen muss.

Die Spectralanalyse der Protuberanzen aber, welche theils an der Ostküste von Vorderindien, theils auf der Halbinsel Malacca von Rayet, A. Herschel, Tennant, Janssen u. A. ausgeführt wurden, lieferten dagegen den unumstösslichen Beweis, dass diese Gebilde gasförmiger Natur sind. Bei Anwendung des mit Fernrohren verbundenen, in einem der nächsten Paragraphen ausführlicher zu besprechenden Geradausschau Spectroscops (spectroscop à vision directe) ergab sich nämlich, dass das Spectrum der Protuberanzen aus einigen isolirten hellen Linien besteht. Einige Beobachter zählten deren neun,

andere fünf oder nur drei. Die den Fraunhofer'schen Linien C und F entsprechenden hellen Linien wurden von allen Beobachtern wahrgenommen und somit ist also glühendes Wasserstoffgas der wesentlichste Bestandtheil der Protuberanzen; ausser diesen beiden Hauptlinien wurden aber auch von einzelnen Beobachtern eine Linie nahe bei D, eine Linie nahe bei G und mehrere andere gesehen.

Die grosse Helligkeit der Linien des Protuberanzspectrums erregten bei Janssen die Hoffnung, dieselben auch ausser der Zeit einer totalen Sonnenfinsterniss, also jederzeit mit dem Spectroskop beobachten zu können, wenn nur überhaupt die Sonne am Himmel steht. Der gleich am 19. August, dem Tage nach der totalen Finsterniss, von ihm gemachte Versuch bestätigte seine Hoffnung auf das Vollständigste. Er richtete den Spalt des an einem grossen Fernrohre angebrachten Spectroskops auf den Rand der Sonnenscheibe, und zwar nach den nämlichen Stellen, an welchen er Tags zuvor leuchtende Protuberanzen beobachtet hatte. Es zeigten sich zwei Spectra, nämlich das des Sonnenrandes mit den dunklen Linien und das aus hellen Linien bestehende Spectrum der Protuberanzregion. Um den störenden Glanz des Sonnenspectrums zu vermeiden, wurde das Instrument so gestellt, dass das Gelb, Grün und Blau ausserhalb des Gesichtsfeldes fiel und nur das Roth übrig blieb; es zeigte sich jetzt die dunkle Linie C im Spectrum des Sonnenrandes und in der Verlängerung desselben eine hellglänzende rothe Linie. Es zeigte sich ein aus nur wenigen hellen Linien gebildetes Spectrum, wenn der Spalt von dem Sonnenrand ganz entfernt wurde, so dass er nur auf die Protuberanzen gerichtet war.

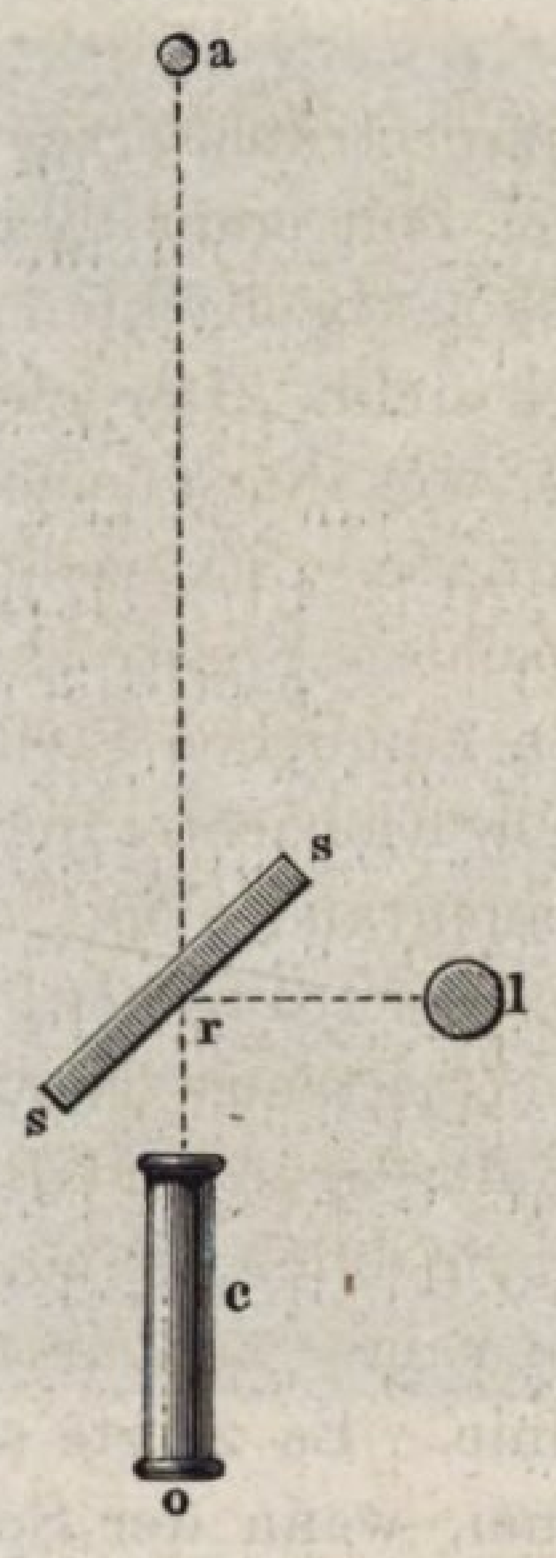
Der Grund, weshalb die Protuberanzen nicht unter den gewöhnlichen Verhältnissen bei Abblendung des intensiven Sonnenbildes sichtbar sind, liegt einfach in den das Bild der Protuberanz überdeckenden stark beleuchteten Theilchen unserer Atmosphäre. Bei einer totalen Sonnenfinsterniss wird dieses superponirte Licht so bedeutend abgeschwächt, dass die intensiv leuchtenden Protuberanzen sammt der corona sichtbar werden.

Die Möglichkeit, die Protuberanzen bei vollem Tageslicht sichtbar zu machen, beruht nun darauf, dass das Licht der Protuberanzen nur aus drei homogenen Lichtarten besteht, bei prismatischer Zerlegung also drei lichtstarke isolirte Bilder liefert, während das weisse superponirte Licht der Atmosphäre zu einem vollständigen Spectrum von verhältnissmässig geringer Lichtstärke ausgebreitet, also an den einzelnen Stellen des Spectrums so abgeschwächt wird, dass es die hier auftretenden lichtstarken Protuberanzbilder nicht mehr unsichtbar machen kann.

Von der Anwendbarkeit dieses Princips kann man sich leicht auf folgende Weise überzeugen. Es sei a, Fig. 177 (a. f. S.), die durch Kochsalz gelb gefärbte Flamme eines Bunsen'schen Brenners, welche man durch ein 10 bis 12 Fuss von a aufgestelltes (in einem der folgenden Paragraphen näher zu besprechendes) Geradliniges Spectroskop c

betrachten kann, dessen Spalte gerade so weit geöffnet wird, dass die Flamme *a* ihrer ganzen Breite nach sichtbar ist. Zwischen *a* und *c* wird nun eine unbelegte Platte von geschliffenem Spiegelglas unter einem Winkel von 45⁰ gegen *ac* aufgestellt, welche das Licht einer seitlich bei *l* aufgestellten hell leuchtenden Argand'schen Lampe in einer Richtung *ro* reflectirt, welche mit *ao* zusammenfällt. Schaut man von *o* aus ohne Spectroskop nach *a* hin, so ist der Glanz des Spiegelbildes von *l* so stark, dass die Natriumflamme bei *a* vollkommen unsichtbar wird, schaut man aber durch das bei *c* aufgestellte Spectroskop, so erscheint nun die gelbe Flamme *a* hellglänzend auf dem lichtschwachen Spectrum, zu welchem das Bild von *l* ausgebreitet wird.

Fig. 177.



Durch einen solchen nur etwas anders arrangirten Versuch hat Zöllner die Richtigkeit dieses Princips erläutert.

Schon im Jahre 1866 hatte Lockyer versucht, auf diesem Wege das Spectrum der Protuberanzen zu beobachten, es gelang ihm aber nicht, weil sein Prismenapparat nicht die hinlängliche zerstreuende Kraft hatte. Janssen wandte ein stärker zerstreuendes Prismensystem an, durch welches das Spectrum der hell erleuchteten Luft mehr ausgebreitet und abgeschwächt wurde, während die homogenen Linien des Protuberanzspectrums keine weitere Ausbreitung und Abschwächung erfuhren.

Mit dem besten Erfolge wurden nun nach Janssen's Vorgang die Spectra der Protuberanzen auch in Europa beobachtet, namentlich von Lockyer, Secchi, Tietjen u. s. w. Secchi constatirte im Spectrum der Protuberanzen ausser den Wasserstofflinien noch das Vorkommen einer hellen Linie nahe bei *B* und einer solchen nahe bei *D* (nicht *B* und *D* selbst), einer hellen Linie zwischen den hellen Magnesiumlinien *b* und einiger Eisenlinien.

Die ferneren Beobachtungen des Sonnenrandes mittelst des Spectroskops zeigten alsbald, dass die ganze Sonne rings von einer Hülle desselben Gases umgeben ist, welches die Protuberanzen bildet, so dass also die Protuberanzen nur als locale Anhäufungen dieses Gases erscheinen. Die scheinbare Höhe dieser mit dem Namen der Chromosphäre bezeichneten glühenden Wasserstoffhülle wird von verschiedenen Beobachtern übereinstimmend zu 15″ angegeben, was einer wahren Höhe von 1660 geographischen Meilen entspricht.

Secchi hat ferner die wichtige Beobachtung gemacht, dass unmittelbar am Sonnenrande die Wasserstofflinien, und zwar namentlich *C*, aufhören, als dunkle Linien zu erscheinen, dass man sich aber erst etwas

vom Rande entfernen muss, wenn man sie als helle Linien wahrnehmen will. Das Verschwinden der dunklen Linie C beobachtete Secchi auch als er den Spalt des Spectroskops auf die in der Umgebung von Sonnenflecken auftretenden Fackeln richtete, ein Beweis, dass hier das Licht des Wasserstoffs hinlänglich intensiv war, um die Absorption der übrigen Sonnenatmosphäre zu compensiren. An der Stelle der Fackeln findet also eine mächtige Anhäufung des glühenden Wasserstoffes statt, die Fackeln sind also mit den Protuberanzen identisch. Die Protuberanzen sind nichts anderes als am Sonnenrande erscheinende Fackeln.

Die sorgfältige Beobachtung des Protuberanzspectrums gestattet aber auch annähernd wenigstens die Gestalt der Protuberanz selbst zu ermitteln. Die Länge der hellen Spectrallinien giebt uns nämlich Auskunft über die Höhe der Protuberanz an der Stelle, auf welche gerade der Spalt gerichtet ist; zeigt sich eine von dem Sonnenrand durch einen dunklen Zwischenraum getrennte helle Linie, so kann man daraus schliessen, dass man es mit einer isolirt über der Sonne schwebenden Wasserstoffwolke zu thun habe. Man braucht nur den Spalt des Spectroskops nach und nach auf die verschiedenen Parthien einer Protuberanz zu richten, jeweils Länge und Lage der hellen Spectrallinien zu notiren, um alsdann aus der Zusammenstellung dieser Data die Gestalt der ganzen Protuberanz zu construiren, wie dies Janssen in der That mit Erfolg gethan hat.

Die vollkommenste Methode zur Beobachtung der Protuberanzen hat aber Zöllner ausgemittelt; sie besteht einfach darin, dass man den Spalt des am Fernrohr angebrachten und auf die Protuberanz gerichteten Spectroskops weit genug öffnet, um die ganze Protuberanz übersehen zu können, so dass statt der getrennten hellen Spectrallinien getrennte farbige Bilder der ganzen Protuberanz im Gesichtsfelde erscheinen, und zwar beobachtete Zöllner deren drei, ein rothes (C) und ein blaues (F), und zwischen ihnen ein gelbes, welches sich aber von den beiden anderen dadurch unterscheidet, dass es nur für die unteren Parthien der Protuberanz sichtbar ist. Es rührt das gelbe Bild also offenbar von einem schwereren glühenden Gase her, welches nicht bis zu der Höhe des glühenden Wasserstoffgases aufsteigt.

Tab. VI^b des Atlasses stellt eine Reihe der von Zöllner beobachteten Protuberanzen dar. Bei einem Theil der hier dargestellten Protuberanzen ist die scheinbare Höhe beigeschrieben. Die 120″ hohe Protuberanz, Fig. 2, zeigte eine züngelnde Bewegung, und zwar betrug die Zeit, welche eine solche Flammenquelle brauchte, um sich von der Basis bis zur Spitze des Gebildes fortzupflanzen, 2 bis 3 Secunden. Trotz eifrigen und andauernden Suchens ist es Zöllner nicht gelungen, eine ähnliche Erscheinung wieder zu beobachten.

Von der grossen Schnelligkeit jedoch, mit welcher sich die Protuberanzen ihrer Form und Intensität nach verändern, geben die übrigen Abbildungen der Tab. VI^b interessante Beispiele. Fig. 3 stellt sechs rasch

aufeinander folgende Phasen einer und derselben, am 1. Juli beobachteten Protuberanz dar, wie sie zu den unten beigesetzten Zeiten erschien.

122 **Physische Constitution der Sonne.** Frankland hat die interessante Entdeckung gemacht, dass eine Wasserstoffflamme in Sauerstoff von hohem Druck brennend, mit hellem Lichte leuchtet und ein ganz continuirliches Spectrum liefert, wie glühende feste oder flüssige Körper. Dies veranlasste Wüllner (Pogg. Ann. CXXXVII), das Licht des Inductionsfunkens spectroskopisch zu untersuchen, wenn derselbe nicht durch verdünnte, sondern durch verdichtete Gase hindurchgeht.

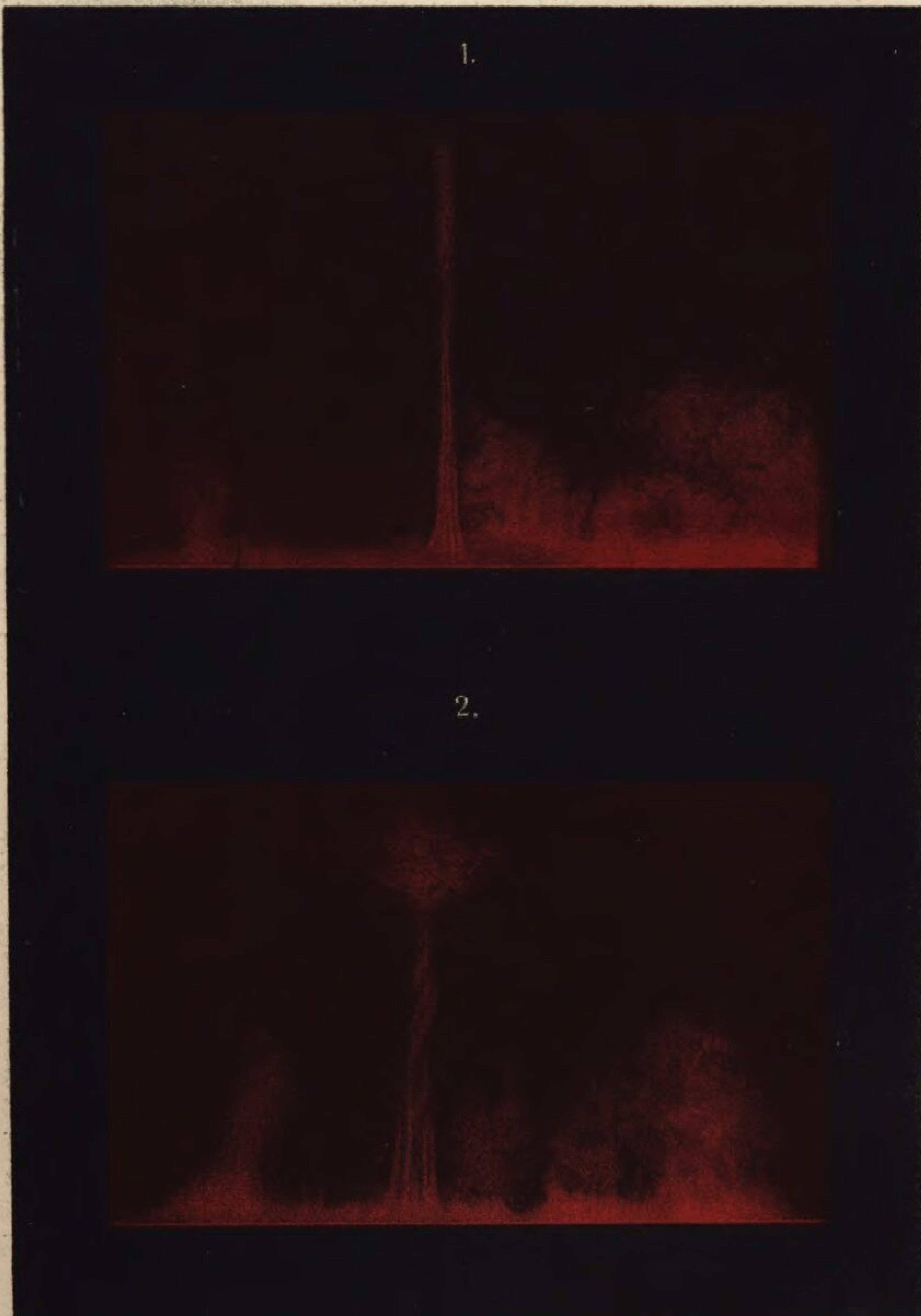
Wüllner hat gefunden, dass das Wasserstoffspectrum ein continuirliches wird, wenn das Gas in der Spectralröhre eine grosse Dichtigkeit hat und man dasselbe durch einen grossen Ruhmkorff'schen Apparat mit eingeschalteter Leydener Flasche ins Glühen bringt.

Geht der Funken, welchen der Apparat bei eingeschalteter Flasche liefert, durch eine Röhre, in welcher das Wasserstoffgas nur dem Druck einer Quecksilbersäule von 23^{mm} Höhe ausgesetzt ist, so besteht das Spectrum noch aus den bekannten drei hellen Linien H_α, H_β und H_γ, von denen die blaue und violette schon verwaschen sind. Der Hintergrund ist noch dunkel und nur zwischen D und F schwach erleuchtet.

Bei zunehmendem Druck dehnen sich H_β und H_γ immer mehr aus, so dass sie bald nur noch als Helligkeitsmaxima auf einem immer heller werdenden continuirlich erleuchteten Grunde erscheinen; gleichzeitig wird allmälig auch H_α weniger scharf und verbreitert sich, so dass diese rothe Linie bei einem Druck von 300^{mm} als ein breites rothes Band erscheint, welches von dem im Orange beginnenden continuirlichen Spectrum nicht mehr durch einen ganz dunklen, sondern nur durch einen mit schwächerem Lichte leuchtenden Raum getrennt ist.

Bei steigendem Druck nimmt die Helligkeit des continuirlichen Spectrums an allen Stellen zu, so dass bei einem Druck von 1000^{mm} das Spectrum zwischen dem etwas verbreiterten H_α bis H_γ ganz continuirlich ist, wie das Spectrum eines weissglühenden festen Körpers, nur mit etwas anders vertheilter Helligkeit. Bei 1230^{mm} Druck war das ganze Spectrum wahrhaft blendend; es zeigte in Folge des bei der hohen Temperatur aus dem Glase verdampften Natriums die Natriumlinie als schöne dunkle Linie. — Zur Erzeugung Fraunhofer'scher Linien ist also das Licht eines glühenden festen oder flüssigen Körpers nicht absolut nöthig.

Demzufolge ist es nun nach Zöllner wahrscheinlich, dass die sichtbare Oberfläche der Sonnenscheibe durch diejenige Schicht der Wasserstoffatmosphäre gebildet wird, für welche durch gesteigerten Druck das Spectrum continuirlich geworden ist. Die glühend flüssige Oberfläche der Sonnenkugel aber liegt unterhalb dieser hell leuchtenden Schicht von Wasserstoffgas.



F Zöllner del

Lith. Anst. v. J. G. Bach Leipzig.

Geographische Meilen.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15000

1869. August 29.

Fig. 1.
Position 160°
Zeit 10 U. 22 M.

Fig. 2.
Dieselbe Protuberanz
Zeit 11 U. 20 M.

Betrachtet man die Sonnenflecken als schlackenartige locale Abkühlungsproducte auf der glühend flüssigen Oberfläche und die Penumbra als Condensationswolken, welche in einer gewissen Höhe die Küsten jener Schlackeninseln umkränzen, so liegen also die Kerne der Sonnenflecken wirklich tiefer als die sichtbare Sonnenoberfläche, und das Wilson'sche Phänomen findet so seine einfache ungezwungene Erklärung.

Die Tiefe der Sonnenflecken unter der leuchtenden Oberfläche beträgt, verschiedenen Beobachtungen zufolge, ungefähr 8 Secunden. Bezeichnen wir mit R den beobachteten Sonnenhalbmesser, mit r den Radius der glühendflüssigen Sonnenkugel, so ist also

$$r = R - 8''$$

oder R in mittlerer Entfernung der Sonne zu 16′ angenommen,

$$r = 15' \, 52''.$$

Nimmt man die mittlere Parallaxe der Sonne nach Hansen zu 8,915″ an, so ergiebt sich für den mittleren Abstand der Sonne von der Erde

$$8'' = \quad 5\,722\,500 \text{ Meter und}$$
$$r = 680\,930\,000 \quad \text{„}$$

Unter den charakteristischen Formen der Protuberanzen, welche man nach der in §. 121 besprochenen Zöllner'schen Methode beobachten kann, finden sich häufig solche, deren Anblick jedem Unbefangenen die Ueberzeugung aufdrängt, dass man es hier mit gewaltigen Eruptionen von glühendem Wasserstoff zu thun habe. Ein derartiges Beispiel liefert die gleichfalls von Zöllner beobachtete und auf Tab. 9 nach etwas grösserem Maassstab in zwei verschiedenen Stadien dargestellte Protuberanz. Zöllner hat oft derartige Protuberanzen beobachtet, welche in 10 bis 12 Minuten bis zu einer scheinbaren Höhe von 1,5 bis 3 Bogenminuten, also bis zu einer wahren Höhe von 64 bis 128 Millionen Meter aufstiegen.

Die bei solchen Eruptionen hervorbrechenden Wasserstoffmassen rühren, wie es Zöllner wahrscheinlich gemacht hat (Pogg. Ann. CXLI), von localen Ansammlungen her, welche sich in den unterhalb der flüssigen Oberfläche gelegenen Schichten bilden und ihre äussere Begränzung durch die wachsende Spannung des eingeschlossenen Gases durchbrechen.

Es sei nun v die Geschwindigkeit, mit welcher die Gasmasse m aus der in der flüssigen Oberfläche gebildeten Oeffnung hervorströmt, so ist ihre lebendige Kraft $m \frac{v^2}{2g}$, wenn g die beschleunigende Kraft der Schwere auf der Oberfläche der Sonne bezeichnet. Die dieser lebendigen Kraft entsprechende Wärmemenge ist

$$W = A \frac{v^2}{2g} \cdot m,$$

wenn A das Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit ist.

Nehmen wir an, dass der Wasserstoff unter einem constanten Druck aus dem Innern durch die Oeffnung ausströmt, so ist die Wärmemenge,

welche beim Ausströmen der Gasmenge m verschwindet, indem sich dieselbe von der Temperatur t_i (der Temperatur im Inneren) bis zur Temperatur t_a (Temperatur an der oberen Gränze der Mündung) abkühlt,

$$W' = m \,.\, c\,(t_i - t_a),$$

wenn c die specifische Wärme des Wasserstoffs bei constantem Druck bezeichnet.

Diese Wärmemenge ist es aber, von welcher die lebendige Kraft des ausströmenden Gases herrührt, wir haben also $W = W'$ und daraus

$$A\,\frac{v^2}{2g} = c\,(t_i - t_a) \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; 1)$$

Bezeichnet man mit H die Höhe, bis zu welcher ein mit der Anfangsgeschwindigkeit v in die Höhe geschleuderter Körper über die Sonnenoberfläche aufsteigen wird, so haben wir (wenn die Abnahme der Schwerkraft, welche der wachsenden Entfernung vom Sonnenmittelpunkt entspricht, unberücksichtigt bleibt):

$$H = \frac{v^2}{2g} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; 2)$$

folglich nach Gleichung 1)

$$t_i - t_a = \frac{AH}{c} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; 3)$$

Setzen wir in diese Gleichung für A, H und c ihre Zahlenwerthe, nämlich $A = \frac{1}{424}$, $H = 64\,000\,000$ und $c = 3{,}409$, so ergiebt sich

$$t_i - t_a = 44\,270^0,$$

d. h. die absolute Temperatur der eingeschlossenen Gasmasse ist um 44 270⁰ C. höher als die Temperatur der Sonnenatmosphäre unmittelbar über der glühendflüssigen Oberfläche der Sonne.

Setzen wir in Gl. 2 für H seinen Werth $64\,000\,000^m$, für g aber seinen Werth 274^m, so ergiebt sich

$$v = 187\,250^m,$$

d. h. eine Geschwindigkeit von 25 geographischen oder 123 englischen Meilen.

Auf die Principien der mechanischen Wärmetheorie sich stützend, berechnet Zöllner nach Formeln, auf deren Entwickelung hier nicht eingegangen werden kann, für die mittlere Temperatur der Sonnenatmosphäre den Werth

$$t = 27\,000^0 \text{ C.},$$

eine Temperatur, welche so hoch ist, dass das Eisen in der Sonnenatmosphäre dauernd in gasförmigem Zustande existiren muss.

Die Temperatur im Inneren der Sonne beträgt demnach ungefähr $70\,000^0$ C.

Zöllner berechnet ferner, dass der Druck an der Stelle, an welcher das Wasserstoffspectrum continuirlich zu werden beginnt, ungefähr $^1/_4$ des irdischen Atmosphärendrucks beträgt. Danach aber ergiebt sich der Druck auf der Oberfläche der flüssigen Trennungsschicht gleich dem von

184 000 Atmosphären,

im Inneren der Räume aber, aus welchen die Protuberanzen hervorbrechen, ist der Druck

4 070 000 Atmosphären,

also ein so enormer Druck, dass selbst bei der hohen Temperatur, welche hier herrscht, die permanenten Gase, also auch der Wasserstoff, nur im glühendflüssigen Zustande existiren können.

Die Quelle der Sonnenwärme mag vorläufig noch in Frage gestellt bleiben.

Das Zodiacallicht. Um die Zeit der Frühlings-Tag- und Nacht- 123
gleiche erscheint manchmal an sternhellen Abenden, wenn die letzte Spur der Dämmerung verschwunden ist, am westlichen Horizonte ein schwacher Lichtstreifen, meist noch matter als das Licht der Milchstrasse, welcher die Form einer schief auf dem Horizont stehenden Pyramide hat.

Die Basis dieses unten breiter werdenden Lichtkegels erscheint ungefähr da, wo die Sonne untergegangen ist; die Axe desselben ist gegen die Stelle hin gerichtet, an welcher sich eben die schon untergegangene Sonne befindet; sie fällt fast ganz mit der Ebene des Sonnenäquators zusammen, der ganze Streifen fällt also am Himmel nahezu in den Thierkreis, da die Ebene des Sonnenäquators nur einen Winkel von 7° mit der Ebene der Ekliptik macht; daher der Name Zodiacallicht.

In unseren Gegenden bildet in der genannten Jahreszeit die Axe des Lichtkegels des Abends einen Winkel von ungefähr 64° mit dem Horizont.

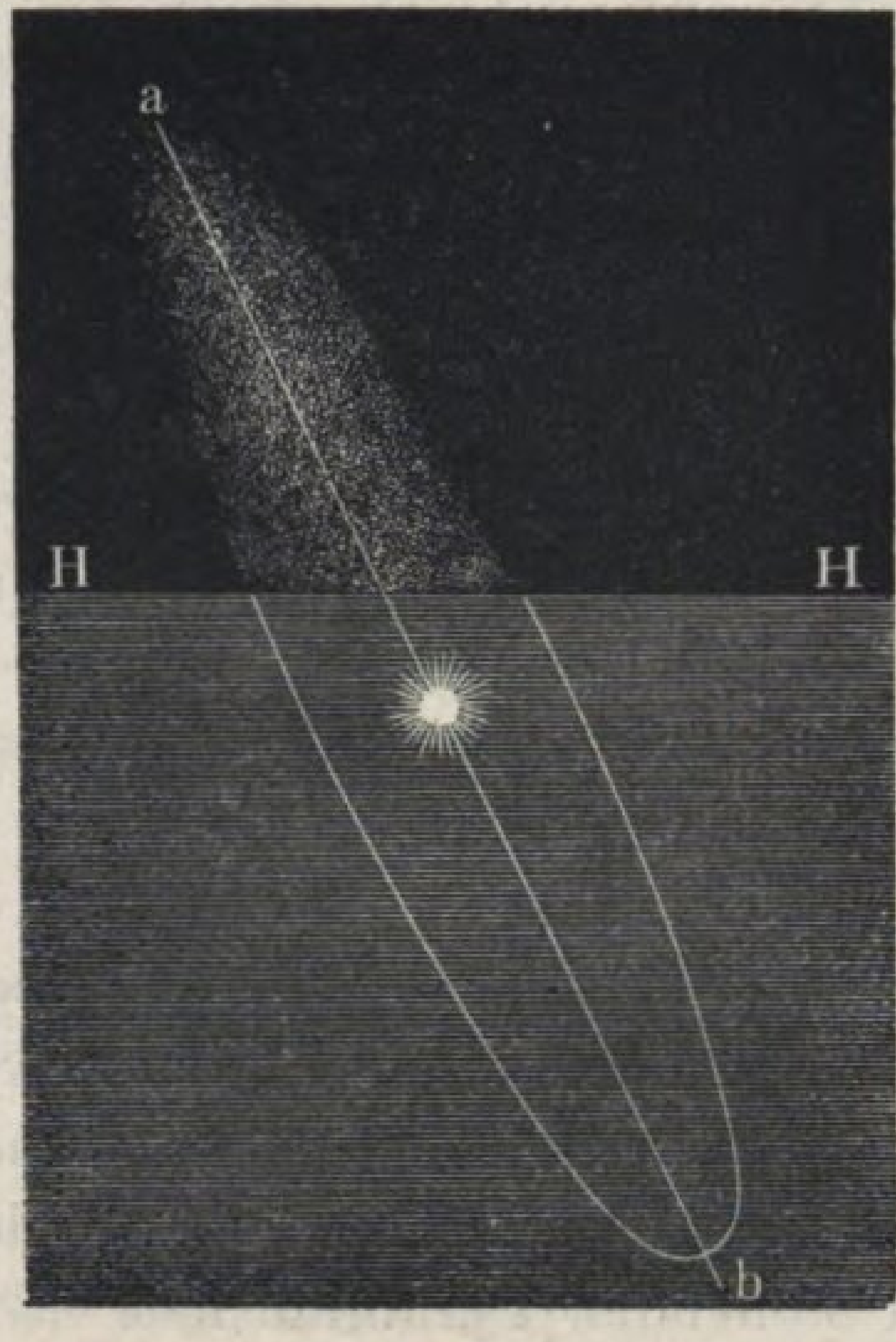
Mit seltener Schönheit erschien dieses Phänomen im Februar und März 1856. Zuerst beobachtete ich dasselbe am 25. Februar gegen 8 Uhr Abends; es blieb bis gegen 9 Uhr sichtbar; ausserdem sah ich es noch bis zum 8. März an sieben Abenden ungefähr um dieselbe Zeit. An den folgenden heiteren Abenden wurde das Zodiacallicht durch den wachsenden Mond unsichtbar gemacht, und ich beobachtete dasselbe erst wieder an den Abenden vom 24. bis zum 30. März.

Diese häufige und ausgezeichnete Erscheinung des Zodiacallichts gab mir Gelegenheit, von demselben eine möglichst treue Abbildung Tab. VI^a machen zu lassen, und zwar mit allen Sternen, wie sie gerade zu jener Zeit am westlichen Himmel standen.

Am östlichen Himmel erscheint das Zodiacallicht wohl auch und zwar des Morgens vor Sonnenaufgang zur Zeit des Herbstäquinoctiums, aber doch nie so lichtstark wie zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums am Abendhimmel.

Dass das Zodiacallicht selbst im Frühjahr selten wahrgenommen wird, beruht nur darauf, dass gerade im Februar und März der Himmel Abends selten so rein ist, wie es zur Wahrnehmung einer so zarten Lichterscheinung nothwendig ist.

Fig. 178.



Von den verschiedenen Umständen, unter welchen das Zodiacallicht erscheint, kann man sich am besten Rechenschaft geben, wenn man sich vorstellt, dass die Sonne von einer ungeheuren linsenförmig abgeplatteten Atmosphäre umgeben sei, in deren Mittelpunkt sie steht und deren grösste Ausdehnung in die Ebene der Ekliptik fällt. Eine solche Atmosphäre würde sich von der Erde aus gesehen ungefähr so darstellen, wie Fig. 178 u. Fig. 179 zeigt; da sie aber nur ein äusserst schwaches Licht ausstrahlt, so kann sie nicht wahrgenommen werden, so lange die Sonne selbst noch über dem Horizont steht, sondern entweder *nur vor Sonnenaufgang oder nach Sonnenuntergang*.

Ferner ist die Sichtbarkeit des Zodiacallichts an die Bedingung geknüpft, dass der Punkt *a* der fingirten Sonnenatmosphäre möglichst spät nach der Sonne untergeht, dass also die grosse Axe *ab* dieser Sonnenatmosphäre einen möglichst grossen Winkel mit dem Horizont *HH* macht. Da nun aber diese grosse Axe nahezu mit der Ekliptik zusammenfällt,

Fig. 179.



so wird das Zodiacallicht vorzugsweise dann sichtbar sein, wenn in den Morgen- oder Abendstunden die Ekliptik möglichst steil aufgerichtet erscheint. Für die nördliche Erdhälfte erscheint aber die Ekliptik am steilsten aufgerichtet, wenn der Frühlingspunkt im westlichen, der Herbstpunkt im östlichen Horizont steht, der Sommersolstitialpunkt aber culminirt. In den Abendstunden ist dies nun im Frühjahr, in den Morgen-

stunden ist es im Herbst der Fall und daraus erklärt sich, warum das Zodiacallicht bei uns vorzugsweise in den oben bezeichneten Zeiten gesehen wird.

Den kleinsten Winkel macht die Ekliptik mit dem Horizont, wenn der Herbstpunkt eben unter-, der Frühlingspunkt eben aufgeht und der Wintersolstitialpunkt culminirt. Im mittleren Deutschland macht alsdann die Axe des Zodiacallichts nur einen Winkel von ungefähr 17° mit dem Horizont, wie dies Fig. 179 angedeutet ist. Diese Lage hat das Zodiacallicht in den Morgenstunden des Frühjahrs und in den Abendstunden des Herbstes; es sind dies für die Sichtbarkeit des Zodiacallichts die ungünstigsten Zeiten, wie man nach den obigen Auseinandersetzungen leicht übersieht.

Je mehr man sich auf der Erde dem Nordpol nähert, desto mehr nimmt der Winkel ab, welchen die Ekliptik mit dem Horizont macht,

Fig. 180.



desto ungünstiger werden also die Verhältnisse zur Beobachtung des Zodiacallichts. Umgekehrt werden dieselben immer günstiger, wenn man sich der Aequatorialzone nähert, einmal weil alsdann der Winkel, welchen die Axe des Zodiacallichts mit dem Horizont macht, immer mehr wächst und dann auch, weil in den Tropen der Himmel ungleich reiner ist als

in höherer Breite. Deshalb ist denn auch zwischen den Wendekreisen die Erscheinung des Zodiacallichts nicht allein weit brillanter, sondern auch weit häufiger, so dass Humboldt dasselbe einen beständigen Schmuck der Tropennächte nennt.

Auf der südlichen Hemisphäre ist die Zeit des Herbstäquinoctiums die günstigste Periode zur Beobachtung des Zodiacallichtes am Abendhimmel.

Während bei uns die Spitze des Zodiacallichtes stets nach Süden gerichtet ist, erscheint auf der südlichen Erdhälfte die Lichtpyramide des Zodiacallichtes nach Norden geneigt, so dass am Abendhimmel der Scheitel des Lichtkegels rechts von der Basis erscheint, wie man dies nach Fig. 180 (a. v. S.) sieht, welche das Zodiacallicht darstellt, wie es nach einer Zeichnung von Ludwig Becker am 11. October 1858 zu Melbourne in Australien beobachtet wurde. Ueber dem Gipfel des Zodiacallichtes erblickte man an jenem Abend in der Nähe der Mondsichel Venus und Antares, während in einiger Entfernung nach Norden hin (rechts von dem Zodiacallicht unserer Figur) der Donati'sche Komet stand, welcher am 11. October zu Melbourne zum ersten Male sichtbar war.

Was die Erklärung des Zodiacallichtes betrifft, so sind bis jetzt zweierlei Meinungen darüber aufgestellt worden; nach Mairan's Erklärung ist das Zodiacallicht die Atmosphäre der Sonne, welche entweder selbstleuchtend ist, oder von der Sonne erleuchtet wird; diese Atmosphäre ist wegen des schnellen Umschwungs der Sonne so stark abgeplattet, dass sie als ein in der Richtung des Sonnenäquators liegender Streifen erscheint. Aus den Gesetzen der Gravitation lässt sich aber darthun, dass eine etwaige Sonnenatmosphäre sich nicht bis zur Mercursbahn erstrecken kann. Weit wahrscheinlicher ist dagegen die andere Ansicht, nach welcher die Erscheinung des Zodiacallichtes einem um die Sonne herumliegenden Nebelringe zuzuschreiben ist.

Im Mai 1867 fand Angström, dass das Spectrum des Zodiacallichtes aus einer einzigen hellen Linie besteht, welche nahezu zwischen D und E in der Mitte liegt und deren Wellenlänge 0 000 5567 Millimeter ist.

124 **Photometrische Vergleichung der Fixsterne.** Die Fixsterne werden, wie bereits im ersten Capitel des ersten Buches angeführt wurde, in verschiedene Grössenclassen eingetheilt. Da nun die Fixsterne selbst bei der stärksten Vergrösserung keinen wirklichen, messbaren Durchmesser zeigen, da also von einer Grösse eigentlich bei ihnen keine Rede sein kann, so bezieht sich jene Eintheilung nicht sowohl auf die Grösse, als vielmehr auf den Glanz der Fixsterne.

Die Eintheilung in Sterne erster, zweiter, dritter u. s. w. Grösse ist übrigens eine ganz willkürliche und conventionelle; es liegen ihr durchaus keine vergleichenden Messungen der Lichtstärke der Fixsterne zu

Grunde. Der Erste, welcher eine solche Vergleichung versuchte, war der ältere Herschel, welcher folgende Methode in Anwendung brachte:

Zwei siebenfüssige, vollkommen gleiche Teleskope, welche also denselben Stern mit gleicher Helligkeit zeigten, wurden so neben einander gestellt, dass der Beobachter sich ungefähr in einer Secunde von dem Ocular des einen an das des anderen begeben konnte. Vor dasjenige Fernrohr nun, welches auf den helleren Stern gerichtet war, wurden Schirme vorgeschoben, welche der Reihe nach immer kleinere und kleinere centrale kreisförmige Oeffnungen hatten, bis man endlich bei einer Grösse der Oeffnung ankam, durch welche der hellere Stern gerade ebenso erschien wie der andere durch das zweite Teleskop, dessen Oeffnung ganz frei war.

War z. B. das eine Fernrohr auf den Arcturus (α Bootis), das zweite auf γ des grossen Bären gerichtet, so zeigten sich beide Sterne gleich hell, wenn vor das erste Fernrohr ein Schirm gesetzt war, dessen Oeffnung einen viermal kleineren Flächeninhalt hatte als die freie Oeffnung des zweiten Fernrohrs, und daraus geht hervor, dass uns α Bootis viermal so viel Licht zusendet als γ ursae majoris.

Durch solche Messungen hat sich nun ergeben, dass im Durchschnitt die Lichtintensität der Sterne zweiter, dritter, . . . nter Grösse 4 mal, 9 mal n^2 mal u. s. w. geringer ist als die Lichtstärke der Sterne erster Grösse.

Da das Licht im Verhältniss des Quadrats der Entfernung geschwächt wird, so würde Arcturus in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung noch als ein Stern zweiter, dritter und vierter Grösse erscheinen.

Die eben besprochene Methode, die Lichtstärke verschiedener Sterne zu vergleichen, leidet besonders an dem Uebelstande, dass man die beiden Sterne nicht gleichzeitig neben einander sieht. Diesem Uebelstande hat man auf verschiedene Weise durch Spiegelvorrichtungen abzuhelfen gesucht.

Im Jahre 1846 hat Seidel nach einer von Steinheil herrührenden Methode eine Reihe photometrischer Fixsternvergleichungen angestellt. Nimmt man die Helligkeit der Wega zur Einheit, so ist nach diesen Messungen Folgendes die Lichtstärke der bei uns hinlänglich deutlich erscheinenden Sterne erster Grösse:

Sirius =	5,13	Spica =	0,49
Rigel	1,30	Atair	0,40
Wega	1,00	Aldebaran . . .	0,36
Arcturus	0,84	Deneb	0,35
Capella	0,83	Regulus	0,34
Procyon	0,71	Pollux	0,30

α Orionis fehlt hier, weil er veränderlich ist.

Da ein Stern sechster Grösse ungefähr 36mal lichtschwächer ist als Wega, so würden also erst 180 Sterne sechster Grösse zusammen die Helligkeit des Sirius erzeugen.

Durch Vergleichung der Wega mit Mars und Jupiter fand Seidel die Lichtstärke dieser beiden Planeten zur Zeit der Opposition gleich 6,8 und 8,5.

Wollaston verglich sowohl den durch Sonnenlicht als auch den durch Mondlicht bewirkten Schatten mit dem Schatten eines Kerzenlichtes, und fand so, dass die Sonne 800 000mal lichtstärker sei als der Vollmond. Durch Vergleichung der von einer Glaskugel reflectirten Bilder des Mondes und des Sirius ergab sich ferner, dass uns der Mond 2500mal heller leuchtet als Sirius, und demnach wäre die Helligkeit des Sirius 2000 Millionen mal schwächer als die der Sonne. Nimmt man nun die jährliche Parallaxe des Sirius gleich 0,23″ an, so überträfe also die absolute Lichtstärke des Sirius die der Sonne 63mal.

Wenn also unsere Sonne in derselben Entfernung von uns sich befände, wie Sirius, so würde sie 63mal lichtschwächer sein als dieser, 12mal lichtschwächer als Wega; sie würde uns also lichtschwächer erscheinen als ein Stern dritter Grösse.

Auf der im Herbst 1858 zu Karlsruhe gehaltenen Naturforscher-Versammlung machte Schwerd Mittheilung über ein von ihm zur photometrischen Vergleichung der Sterne construirtes Instrument, welches an Genauigkeit und Sicherheit alles übertraf, was in dieser Beziehung bis dahin geleistet worden war.

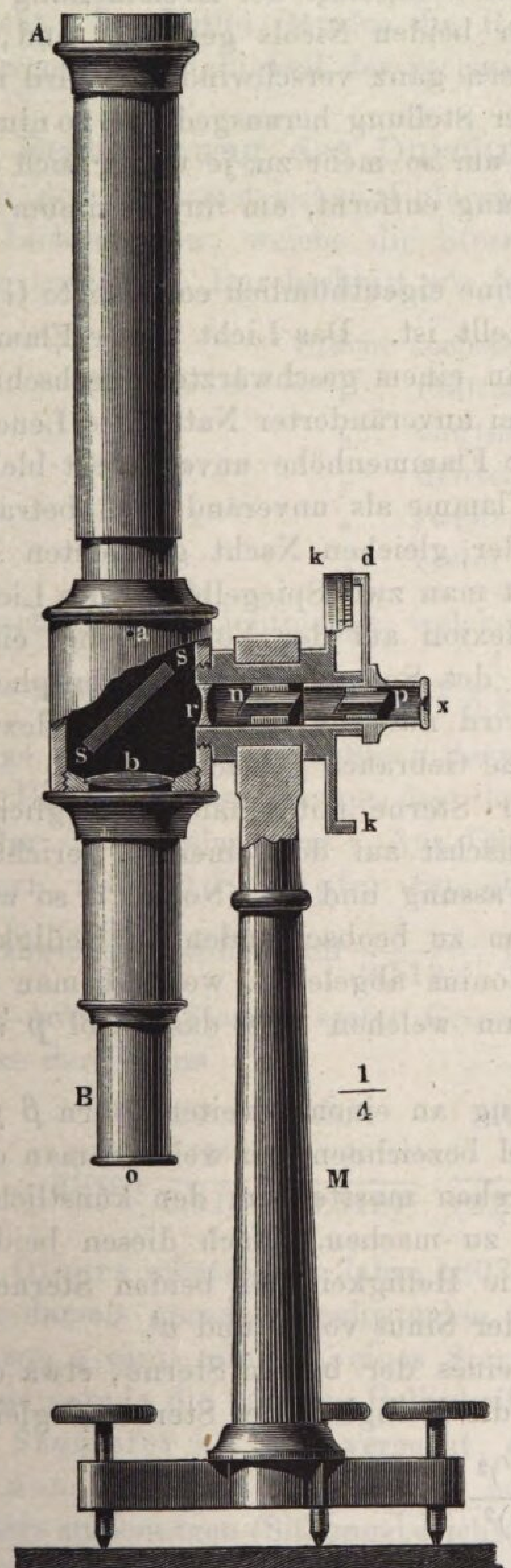
Das Instrument besteht im Wesentlichen aus zwei nach allen Richtungen beweglichen Fernrohren, welche auf die zu vergleichenden Sterne gerichtet werden, deren Bilder aber mittelst äusserst sinnreichen, hier nicht näher zu beschreibenden Vorrichtungen gleichzeitig und unmittelbar nebeneinanderstehend gesehen werden.

Unter dem Titel „Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels“ hat Zöllner im Jahre 1861 eine umfangreiche Arbeit über den genannten Gegenstand publicirt, in welchem er ein von ihm construirtes, zur Helligkeitsmessung der Gestirne dienendes Instrument beschreibt, welches ohne Zweifel eine um so grössere Verbreitung finden wird, als es mit verhältnissmässig geringen Mitteln hergestellt werden kann. Mittelst dieses Instrumentes werden die Sterne des Himmels mit einem künstlichen Sterne verglichen, dessen Helligkeit durch eine Polarisationsvorrichtung beliebig abgeschwächt werden kann, bis er an Helligkeit dem zu beobachtenden Himmelsstern gleich ist. Da hier zur Abschwächung des künstlichen Sterns eine Polarisationsvorrichtung angewendet wird, so nennt Zöllner sein Instrument Polarisations-Astrophotometer.

Fig. 181 mag dazu dienen, das Wesentlichste der Einrichtung dieses Photometers verständlich zu machen. AB stellt ein Fernrohr dar, dessen Einrichtung etwas von der gewöhnlichen abweicht. Das Ocular ist unveränderlich bei b befestigt, während das bei A befindliche Objectiv in der Richtung der Axe des Rohrs verschoben werden kann. Bei s ist eine planparallele Glasplatte so befestigt, dass sie einen Winkel von 45^0 mit

der Axe des Rohres macht. Diesem durchsichtigen Spiegel gegenüber ist das Rohr seitlich durchbrochen, so dass ein Auge bei *o* das Spiegelbild einer bei *x* befindlichen, durch eine constante Lichtquelle erleuchteten feinen Oeffnung in der Axe des Fernrohrs erblickt. Damit das Spiegelbild der kleinen (2 bis 4 Millimeter weiten) Oeffnung *x* nicht gar zu weit hinter den Spiegel falle, ist bei *r* eine Hohllinse von kurzer Zerstreuungsweite angebracht, welche zugleich bewirkt, dass das bei *a* liegende Spiegelbild der Oeffnung *x* vollkommen sternartig erscheint.

Fig. 181.



Die Brennweite der Ocularlinse *b* muss so beschaffen sein, dass das Auge bei *o* das Spiegelbild bei *a* vollkommen scharf sieht. Durch Ausziehen der Röhre, an deren Ende *A* die Objectivlinse befestigt ist, kann man es leicht dahin bringen, dass das Bild, welches diese Objectivlinse von dem zu beobachtenden Sterne entwirft, gerade neben *a* entsteht, dass also der Stern des Himmels und der künstliche Stern gleichzeitig scharf gesehen werden.

In der von der Messingsäule *M* getragenen Hülse, welche die horizontale Umdrehungsaxe des Fernrohrs bildet, ist ein Nicol'sches Kalkspathprisma *n* so eingesetzt, dass seine Lage gegen den Spiegel *ss* stets ungeändert bleibt, und zwar sind die Schwingungen der Strahlen, welche durch das Nicol gegangen sind, parallel mit der Ebene des Spiegels *ss*, so dass sie also möglichst vollständig von demselben reflectirt werden können.

Bei *p* ist ein zweites Nicol angebracht, welches um seine Axe gedreht werden kann, während *n* unverändert stehen bleibt, so dass also der Winkel, welchen die Schwingungsebenen der beiden Nicols mit ein-

ander machen, beliebig geändert werden kann. Mit dem Nicol p dreht sich der Nonius d, welcher sich längs des in 360° getheilten Kreises kk bewegt, an welchem demnach die Drehung des Nicols p abgelesen werden kann. Der Nonius d zeigt auf den Nullpunkt der Kreistheilung auf kk, wenn die Schwingungsebenen der beiden Nicols gekreuzt sind, in welchem Falle dann der künstliche Stern ganz verschwindet. Wird nun das Nicol mit seiner Fassung aus dieser Stellung herausgedreht, so nimmt die Helligkeit des künstlichen Sterns um so mehr zu, je weiter sich der Nonius von dem Nullpunkt der Theilung entfernt, um ihr Maximum bei 90° zu erreichen.

Als constante Lichtquelle dient eine eigenthümlich construirte Gaslampe, deren Flamme vor x aufgestellt ist. Das Licht dieser Flamme kann nur durch eine kleine Oeffnung in einem geschwärzten Blechschirm auf die Oeffnung x fallen. So lange bei unveränderter Natur des Leuchtgases der Gaszufluss constant und die Flammenhöhe unverändert bleibt, kann man auch die Lichtstärke der Flamme als unveränderlich betrachten. Jedenfalls ist dies für alle in der gleichen Nacht gemachten Beobachtungen der Fall. Eigentlich sieht man zwei Spiegelbilder des Lichtpunktes x, nämlich eines durch Reflexion auf der Vorderfläche, eines durch Reflexion auf der Hinterfläche des Spiegels ss. Bei der photometrischen Vergleichung der Sterne wird nur von dem durch Reflexion auf der Vorderfläche entstandenen Bilde Gebrauch gemacht.

Wenn nun die Helligkeit zweier Sterne mit einander verglichen werden soll, so wird das Fernrohr zunächst auf den einen, α, gerichtet, und dann das Nicol p sammt seiner Fassung und dem Nonius d so weit gedreht, bis der künstliche Stern dem zu beobachtenden an Helligkeit gerade gleich ist; alsdann wird der Nonius abgelesen, wodurch man erfährt, wie gross der Winkel v ist, um welchen man das Nicol p aus seiner Anfangsposition gedreht hat.

Hierauf wird dieselbe Beobachtung an einem zweiten Stern β gemacht. Wir wollen mit v' den Winkel bezeichnen, um welchen man das Nicol p aus seiner Anfangsposition drehen musste, um den künstlichen Stern diesem zweiten Sterne β gleich zu machen. Nach diesen beiden Ablesungen ergiebt sich nun, dass die Helligkeit der beiden Sterne α und β sich verhält wie die Quadrate der Sinus von v und v'.

Nimmt man also die Helligkeit eines der beiden Sterne, etwa die des Sternes α zur Einheit, so ist also die Helligkeit des Sternes β gleich

$$\frac{(sin\ v')^2}{(sin\ v)^2}$$

Bei einer derartigen Messung ergab sich z. B. für δ coronae $v = 11{,}3^0$ für α coronae ergab sich $v' = 30{,}9^0$; demnach ist die Helligkeit von α coronae gleich

$$\frac{(sin\ 30{,}9)^2}{(sin\ 11{,}3)^2} = \frac{0{,}5135^2}{0{,}1959^2} = 6{,}871.$$

Bei einer zweiten Vergleichung derselben Sterne ergab sich für δ coronae $v = 11,1^0$ und für α coronae $v' = 31^0$, was für die Helligkeit von α coronae den Werth

$$7,199$$

ergiebt. Im Mittel ist also die Helligkeit von α coronae gleich 7,035, wenn man die Helligkeit des Sternes δ coronae gleich 1 setzt.

Bestimmung des Durchmessers der kleinen Planeten. 125

Nach den photometrischen Untersuchungen Steinheil's verhalten sich die Lichtmengen, welche die Sterne verschiedener Grössenclassen zur Erde senden, im Durchschnitt wie folgt:

Sterne	sechster	Grösse	10
„	fünfter	„	28
„	vierter	„	80
„	dritter	„	227
„	zweiter	„	642
„	erster	„	1819,

wonach also die Lichtmenge, welche uns ein Stern irgend einer Grössenclasse zusendet, im Durchschnitt $\frac{1}{2,83}$mal geringer wäre als die Lichtmenge, welche von einem Stern der nächst höheren Classe zu uns gelangt.

Dieses Resultat ist aus der Beobachtung von 26 Sternen erster bis fünfter Grösse abgeleitet. Aus Gründen, die wir hier nicht erläutern können, reducirt Stampfer den obigen Factor, welchen wir kurz mit $\frac{1}{a}$ bezeichnen wollen, auf $\frac{1}{2,519}$. Bezeichnen wir also die Lichtstärke eines mittleren Sternes erster Grösse mit 1, so wäre demnach die Lichtstärke der Sterne

	2ter	3ter	4ter	5ter . . .	nter Grösse.
gleich	$\frac{1}{2,519}$	$\frac{1}{(2,519)^2}$	$\frac{1}{(2,519)^3}$	$\frac{1}{(2,519)^4}$. . .	$\frac{1}{(2,519)^{n-1}}$

Olbers schätzte im Jahre 1803 die Lichtstärke des Saturn, dessen Ring damals gerade verschwunden war, zur Zeit der Opposition gleich der von a canis minoris, eines Sternes, welcher unter den Sternen 1ster Grösse gerade die mittlere Helligkeit hat.

Stampfer hat nun versucht, die photometrische Vergleichung der kleinen Planeten (Asteroiden) zur Ermittelung ihres wahren Durchmessers zu benutzen (Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der Wiener Akademie, 7. Band, S. 756). In etwas veränderter Form ist Folgendes der Gang der Entwickelung.

Sind r und ϱ die Entfernungen eines Planeten von der Sonne und von der Erde zur Zeit der Opposition, d sein wirklicher Durchmesser, so wird seine Lichtstärke oder seine Helligkeit H ausgedrückt durch

$$H = A \frac{d^2}{r^2 \varrho^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

wo A ein constanter Factor ist, welcher von der Fähigkeit des Planeten, die Sonnenstrahlen zu reflectiren, abhängt.

Aus einer Vergleichung der Lichtstärke und des scheinbaren Durchmessers der Planeten Jupiter, Saturn und Uranus hat sich ergeben, dass dieselben nahezu gleiches Vermögen besitzen, die Sonnenstrahlen zu reflectiren oder mit anderen Worten, dass der Factor A für diese drei Planeten nahezu gleichen Werth hat. Für den Mars ist der Werth von A kleiner.

Nehmen wir nun an, was höchst wahrscheinlich ist, dass das Reflexionsvermögen der kleinen Planeten dem des Jupiter und Saturn gleich ist, dass also der Factor A für sie denselben Werth habe wie für Saturn, so haben wir für einen solchen kleinen Planeten

$$H_1 = A \frac{d_1^2}{r_1^2 \varrho_1^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 2)$$

wenn H_1 die Helligkeit eines der kleinen Planeten, d_1 seinen Durchmesser, r_1 seinen mittleren Abstand von der Sonne und ϱ_1 seine Entfernung von der Erde zur Zeit seiner Opposition bezeichnet.

Nehmen wir die Lichtstärke des Saturn zur Zeit der Opposition zur Einheit, so geht Gl. 1) über in

$$1 = A \frac{d^2}{r^2 \varrho^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Wenn einer der kleinen Planeten zur Zeit der Opposition als ein Stern nter Grösse erscheint, so ist für ihn

$$\frac{1}{a^{n-1}} = A \frac{d_1^2}{r_1^2 \varrho_1^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

aus der Combination der Gleichungen 3) und 4) ergiebt sich aber

$$d_1 = \frac{d \cdot r_1 \cdot \varrho_1}{r \cdot \varrho \cdot \sqrt{a^{n-1}}} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 5)$$

Sind nun, wie es wirklich der Fall ist, alle übrigen Grössen dieser Gleichung bekannt, so lässt sich nach derselben d_1, d. h. der Durchmesser des kleinen Planeten, berechnen.

Für Saturn ist

$d = 16305$ Meilen
$r = 9{,}393$ Erdweiten
$\varrho = 8{,}393$ „

Für die kleinen Planeten ist im Mittel

$r_1 = 2{,}54$ Erdweiten
$\varrho_1 = 1{,}54$ „

Der Werth von a ist, wie wir oben gesehen haben, gleich 2,519. Setzt man diese Zahlenwerthe in Gl. 5), so ergiebt sich für einen kleinen Planeten, welcher zur Zeit der Opposition als ein Stern 7ter Grösse erscheint,

$$d_1 = \frac{16305 \,.\, 2{,}54 \,.\, 1{,}54}{9{,}393 \,.\, 8{,}393 \sqrt{2{,}519^6}} = 47{,}5 \text{ Meilen.}$$

In gleicher Weise ergeben sich für Asteroiden, welche zur Zeit der Opposition als Sterne der Grössenclasse erscheinen, welche in der ersten Verticalreihe der folgenden Tabelle eingetragen ist, die nebenbei stehenden Werthe des wahren Durchmessers

Grössen-classe	Wahrer Durchmesser	Scheinbarer Durchmesser
7	47,5 Meilen	0,308 Secunden
8	29,7 „	0,192 „
9	18,5 „	0,120 „
10	11,6 „	0,075 „
11	7,2 „	0,047 „
12	4,5 „	0,030 „

Bei Berechnung dieser Tabelle ist der mittlere Abstand der kleinen Planeten von der Sonne für alle als gleich angenommen, was nur für eine erste rohe Annäherung angenommen werden kann. Wenn es sich um irgend einen bestimmten handelt, so sind die ihm entsprechenden Werthe von r_1 und ϱ_1 in Rechnung zu bringen. Für Ceres, welche zur Oppositionszeit als ein Stern 8ter Grösse erscheint, z. B. ist $r_1 = 2{,}77$, $\varrho_1 = 1{,}77$, woraus sich ergiebt

$$d_1 = \frac{16000 \,.\, 2{,}77 \,.\, 1{,}77}{9{,}393 \,.\, 8{,}393 \sqrt{2{,}519^7}} = 39 \text{ Meilen.}$$

Für Pallas ergiebt sich auf diese Weise ein Durchmesser von 30 Meilen.

Victoria erscheint als ein Stern 10ter Grösse; für sie ist $r_1 = 2{,}33$, $\varrho_1 = 1{,}33$, und danach ergiebt sich für dieselbe

$$d_1 = 9{,}8 \text{ Meilen.}$$

Wenn nun auch die so berechneten Werthe der Durchmesser der kleinen Planeten nicht auf grosse Genauigkeit Anspruch machen können, weil die Helligkeitsbestimmungen als Schätzungswerthe selbst nur angenähert richtig sind, wenn man selbst einen Fehler von 100 Procent in den berechneten Werthen von d_1 zugiebt, so ergiebt sich doch unzweifelhaft, dass die Durchmesser der Ceres und der Pallas nicht 330 und 450 Meilen sein können, welche Grössen Schröter aus der Messung ihrer scheinbaren Durchmesser abgeleitet hat. Wenn die beiden obengenannten Planetoiden wirklich die Durchmesser hätten, wie sie Schrö-

ter bestimmt hat, so müsste uns Ceres als ein Stern 3ter, Pallas aber als ein Stern 2ter Grösse erscheinen.

Uranus erscheint zur Zeit der Opposition als ein Stern von gut 6ter Grösse, wir können für ihn also $n = 5{,}8$ setzen; ferner ist für ihn $r_1 = 19{,}18$, $\varrho_1 = 18{,}18$, wonach sich nach Gleichung 5) ergiebt

$$d_1 = 5688 \text{ Meilen,}$$

während sich aus der Messung des scheinbaren Durchmessers (4,12 Secunden) ein Durchmesser von 7396 Meilen für Uranus ergiebt.

126 **Veränderliche Sterne.** Der erste Stern, an welchem ein regelmässiger Wechsel der Lichtstärke beobachtet wurde, ist 0 Ceti. David Fabricius hatte ihn am 13. August 1596 als einen Stern dritter Grösse beobachtet und im October desselben Jahres verschwinden sehen; die periodische Veränderlichkeit dieses Sternes entdeckte aber Holwarde, Professor zu Franeker, im Jahre 1639.

Der fragliche Stern, welcher dieser merkwürdigen Erscheinung wegen auch Mira Ceti genannt wurde, erreicht manchmal den Glanz eines Sternes zweiter Grösse; seine Helligkeit nimmt aber dann wieder so ab, dass er für das blosse Auge vollständig verschwindet. Mit Fernrohren ist er zur Zeit seines Lichtminimums schon als ein Stern elfter bis zwölfter Grösse beobachtet worden, so dass es nicht ganz ausgemacht ist, ob er immer ganz verschwindet. Das Maximum seines Lichtglanzes erreicht ebenfalls nicht immer dieselbe Grösse; während er manchmal, wie bereits bemerkt wurde, die Helligkeit eines Sternes zweiter Grösse erreicht, wird er oft auch zur Zeit seines Maximums nur noch einem Stern vierter Grösse gleich.

Die Periode, in welcher Mira Ceti den ganzen Cyclus der erwähnten Veränderungen durchläuft, dauert 331 Tage 20 Stunden. Im Mittel dauert die Zeit der Lichtzunahme von der sechsten Grösse bis zum Maximum 50 Tage, die der Lichtabnahme vom Maximum bis zur sechsten Grösse 69 Tage, so dass der Stern ungefähr 4 Monate mit blossen Augen sichtbar bleibt. Zuweilen hat diese Sichtbarkeit sich auf 5 Monate gesteigert, während sie zu anderen Zeiten nur 3 Monate gewesen ist. Ebenso ist auch die Dauer der Zu- und Abnahme des Lichtes grossen Schwankungen unterworfen.

Im Jahre 1669 erkannte Montanari die Veränderlichkeit des Sternes β Persei (Algol am Medusenhaupte), der unter allen veränderlichen Sternen die kürzeste Periode zeigt; denn diese beträgt nur 2 Tage 20 Stunden 49 Minuten, also nahezu 69 Stunden. 62 Stunden dieser Periode ist er Stern 2ter Grösse, etwa $3^1/_2$ Stunden braucht er um zur 4ten Grösse abzunehmen und ungefähr eben so viel Zeit um seinen gewöhnlichen Glanz wieder zu erlangen. Das Minimum seiner Lichtstärke dauert nur 18 Minuten.

Bis jetzt hat man 24 Sterne als periodisch veränderlich erkannt. Die folgende kleine Tabelle veränderlicher Sterne ist ein Auszug aus der

von Argelander entworfenen, welche Humboldt im dritten Bande des Kosmos S. 243 mittheilt.

Bezeichnung des Sternes.	Dauer der Periode.			Helligkeit im	
				Maximum.	Minimum.
	Tage.	Stunden.	Minuten.	Grösse.	Grösse.
0 Ceti	331	20	—	4 bis 2,1	0
β Persei	2	20	49	2,3	4
χ cygni	406	1	30	6,7 „ 4	0
η aquilae	7	4	14	3,4	5,4
β lyrae	12	21	45	3,4	4,5
α Herculis	66	8	—	3	3,4
α Cassiopeiae	79	3	—	2	3,2
α Orionis	196	0	—	1	1,2

Die Zwischenstufen zwischen erster und zweiter, zweiter und dritter Grösse u. s. w. sind in dieser Tabelle durch Decimalbrüche bezeichnet.

Zur Erklärung des eben besprochenen Phänomens hat Zöllner die Ansicht ausgesprochen, dass sich in dem Lichtwechsel der Veränderlichen nur eine ausgeprägtere Sonnenfleckenperiode dieser entfernten Himmelskörper verrathe. Das Phänomen der Sonnenflecken und das der Veränderlichkeit der Sterne sind nach dieser Theorie nur quantitativ, nicht qualitativ verschiedene Erscheinungen. Haben die relativ dunklen Stellen, die kurz mit dem Namen „Schlacken" belegt werden mögen, in Folge weiter vorgeschrittener Abkühlung eines Weltkörpers an Ausdehnung und dadurch auch an Stabilität gewonnen, so muss ein mit solchen dunklen Stellen bedeckter und rotirender Fixstern im Allgemeinen das Phänomen eines Veränderlichen zeigen.

Der merkwürdige Umstand, dass beim Algol das Minimum nur 18 Minuten dauert, hat schon längst auf die Vermuthung geführt, dass hier eine, durch einen dunklen Trabanten veranlasste, für uns ringförmige Verfinsterung des Algol vorliege. Den Einwand, dass ein Trabant von den Dimensionen einer Sonne nicht wohl eine Bahn von 69 Stunden Umlaufszeit haben könne, widerlegt Klinkerfues dadurch, dass er die mittlere Entfernung zweier Körper berechnet, deren jeder die Masse unserer Sonne hat, und welche den Umlauf um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt in 69 Stunden vollenden. Es ergiebt sich ein Abstand von 1 300 000 geographischen Meilen; die gesuchte mittlere Entfernung bleibt also immer noch das 14fache des Sonnenhalbmessers.

Auf ähnliche Art lässt sich auch der Lichtwechsel von β Lyrae,

η aquilae, überhaupt der meisten gut untersuchten Veränderlichen erklären, nämlich durch die Hypothese, dass es sehr enge Doppelsterne sind. Es ist dabei weder nöthig, dass die umkreisende Masse immer eine dunkle sei, noch auch, dass immer ein centraler Vorübergang der einen Scheibe vor der anderen stattfinde.

127 **Temporäre Sterne.** Manchmal erscheinen plötzlich neue Sterne am Himmel, welche kurze Zeit glänzen, um alsbald wieder zu verschwinden. So erschien im Jahre 389 ein neuer Stern nahe bei α aquilae, welcher mit der Helligkeit der Venus aufloderte und nach drei Wochen spurlos verschwand.

In der ersten Hälfte des neunten Jahrhunderts beobachteten die arabischen Astronomen einen neuen Stern im Scorpion, „dessen Licht dem des Mondes in seinen Vierteln" geglichen haben soll, und welcher schon nach 4 Monaten wieder verschwand.

Der merkwürdigste unter den temporären Sternen ist der von 1572, welchen auch Tycho de Brahe beobachtete. Er erschien am 11. November 1572 im Sternbilde der Cassiopeja; alsbald glänzend wie Sirius, nahm die Lichtstärke des neuen Sternes noch zu, bis er selbst den Jupiter an Helligkeit übertraf und selbst am Tage gesehen werden konnte. Im December 1572 begann sein Glanz abzunehmen und verschwand endlich im März 1574, 16 Monate nach seinem ersten Erscheinen. Anfangs blendend weiss, wurde er im März 1573 röthlich und im Januar 1574 wieder weiss.

Ein böhmischer Astronom, Cyprianus Leovitius, versichert, in einer handschriftlichen Chronik die Nachricht gefunden zu haben, dass im Jahre 945 sowohl als auch im Jahre 1264 zwischen den Constellationen des Cepheus und der Cassiopeja ganz nahe der Milchstrasse ein glänzender Stern erschienen sei; darauf gründet sich nun die Ansicht einiger Astronomen, dass der schöne Stern ein periodischer sei und dass seine Periode 313 Jahre betrage. Wenn diese Ansicht richtig ist, so müsste der fragliche Stern im Jahre 1885 wieder erscheinen.

Im Jahre 1604 erschien ein neuer Stern im Ophiuchus, welcher die Helligkeit des Jupiter erreichte, aber dem Sterne von 1572 nicht ganz gleich kam und auch nicht bei Tage gesehen werden konnte. Dieser Stern wurde besonders von Kepler beobachtet. Er erschien im October 1604. Zu Anfang des Januar 1605 war er noch heller als Antares, aber weniger hell als Arcturus; im März dieses Jahres war er nur noch dritter Grösse. Vier Monate lang konnte er wegen der Nähe der Sonne nicht beobachtet werden. Im März 1606 verschwand er spurlos.

Im Jahre 1848 beobachtete Hind einen neuen Stern fünfter Grösse gleichfalls im Ophiuchus. Nach Lichtenberger's Beobachtungen war er im Jahre 1850 nur noch elfter Grösse und wahrscheinlich dem Verschwinden nahe.

Die temporären Sterne gehören zu den seltenen Erscheinungen; denn

in den letzten 2000 Jahren können deren kaum 20 bis 22 mit einiger Sicherheit aufgeführt werden.

Farbige Sterne. Ptolemäus führt in seinem Fixsternkataloge 128
sechs röthliche Sterne an, nämlich Arcturus, Aldebaran, Pollux, Antares, Beteigeuze und Sirius. Von diesen haben fünf noch jetzt ein röthliches Licht, während Sirius gegenwärtig vollkommen weiss ist.

Entschieden weiss sind, ausser Sirius, unter den helleren Sternen gegenwärtig Wega, Deneb, Regulus und Spica. Gelbliches Licht haben Procyon, Atair, der Polarstern und besonders β ursae minoris. Bläulich ist η lyrae.

Auch unter den Doppelsternen findet man viele farbige, und zwar sind bald die beiden Sterne gleichfarbig, bald haben sie verschiedene Farben.

So sind z. B. die beiden Sterne von γ virginis (3^m und 3^m) gelblich, von ϱ Herculis (4^m und 5^m) grünlich, von ζ ursae majoris (2^m und 4^m) mattgrün u. s. w.

Bei vielen anderen Doppelsternen zeigt sich dagegen eine merkliche Verschiedenheit der Farbe. So ist z. B. bei α ursae minoris der Hauptstern gelb, der Begleiter weiss; bei α piscium der grössere (3^m) grünlich, der kleinere (4^m) blau; bei ζ Orionis der Hauptstern (2^m) roth, der Nebenstern (6^m) rothgelb; bei γ leonis ist der Hauptstern (2^m) goldgelb, der kleinere ($3{,}5^m$) röthlich; bei ε Bootis ist der Hauptstern (3^m) roth, der Begleiter (6^m) blau u. s. w.

Ein schöner dreifacher Stern ist γ Andromedae; der Hauptstern (3^m) ist goldgelb, die beiden kaum $^1/_2$ Secunde von einander entfernten Begleiter sind bläulich violett.

Zöllner hat an seinem bereits auf Seite 317 besprochenen Astrophotometer noch eine weitere Vorrichtung angebracht, welche dazu dient, den künstlichen Stern beliebig gefärbt erscheinen zu lassen, so dass er auch in Beziehung seiner Farbe dem zu beobachtenden natürlichen Sterne vollkommen gleich gemacht werden kann. Diese Vorrichtung, welche Zöllner Colorimeter nennt, ist in unserer Figur ganz weggelassen, wie denn überhaupt die ganze Partie zwischen r und x gewissermaassen der Kleinheit des Maassstabes wegen nur schematisch dargestellt, keineswegs die Constructions- und Verbindungsweise der einzelnen Theile so wiedergiebt, wie sie an dem Zöllner'schen Instrumente ausgeführt sind.

Der Colorimeter wird durch die Combination des Nicols p mit einer senkrecht zur Axe geschnittenen Bergkrystallplatte und einem dritten Nicol gebildet. Die senkrecht zur Axe geschnittene 5^{mm} dicke Quarzplatte ist zunächst rechts von p angebracht und zwar so, dass ihre Stellung gegen p unverändert bleibt; rechts von dieser Quarzplatte befindet sich dann das dritte Nicol. (Natürlich muss der Abstand von p bis x grösser sein als in unserer Figur, damit die Quarzplatte und das dritte Nicol zwischen p und x noch Platz finden.)

Wenn das dritte Nicol um seine Axe gedreht wird, während p seine

Stellung beibehält, so ändert sich die Farbe der Quarzplatte, welche man durch entsprechende Drehung der des natürlichen Sternes gleichmachen kann. Die Drehung des dritten Nicols gegen den Nicol *p* kann an einem besonderen Theilkreis abgelesen werden. Wir müssen uns hier begnügen, Zweck und Construction des Colorimeters nur anzudeuten.

129 **Ansehen der Sterne mit blossem Auge und mit dem Fernrohre betrachtet.** Wenn man die Sterne mit unbewaffnetem Auge betrachtet, so erscheinen sie nicht als einfache helle Punkte, sondern sie erscheinen mit divergirenden Strahlen versehen, wodurch das Bild des Sterns eine ziemliche Ausdehnung erhält. Diese Strahlen sind es, welche verhindern, dass man neben Jupiter dessen Trabanten noch unterscheiden kann, welche gross und hell genug sind, um als isolirt stehende Sterne ohne Fernrohre sichtbar zu sein.

Dieser Umstand, dass das Bild der Sterne mit blossem Auge betrachtet durch divergirende Strahlen vergrössert erscheint, hat ohne Zweifel seine Quelle im Auge des Beobachters; sphärische Aberration, Diffraction an den Rändern der Pupille oder an den Wimpern, die Ausbreitung des Lichteindrucks auf der Netzhaut von dem unmittelbar gereizten Punkte aus wirken hier zusammen, um die besprochene Erscheinung hervorzubringen. Dass dieselbe subjectiver Natur ist, geht daraus hervor, dass sie bei verschiedenen Personen oft sehr ungleich ist. In Folge der Sternstrahlung schrieben Kepler und Tycho dem Sirius einen Durchmesser von $4'$ und $2'\ 20''$ zu.

Durch Fernrohre wird das Bild der Fixsterne weit reiner, aber immer bleibt ihnen selbst bei den besten Instrumenten ein falscher, factiver Durchmesser. Dass dieser Durchmesser nicht der wahre Winkeldurchmesser ist, unter welchem uns das Fernrohr den Stern zeigen sollte, geht daraus hervor, dass er bei wachsender Vergrösserung nicht zunimmt, wie der Durchmesser der Planeten. Wenn man einen Doppelstern durch Fernrohre betrachtet, so rücken die beiden Sterne um so weiter von einander weg, je stärker die angewandte Vergrösserung ist, während die Durchmesser der Sterne selbst bei wachsender Vergrösserung eher kleiner werden.

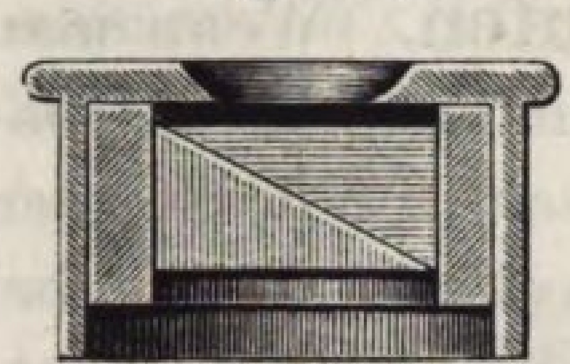
Bei gleicher Vergrösserung ist der falsche Durchmesser der Fixsterne, welchen die Fernrohre zeigen, um so kleiner, je grösser der Durchmesser des Objectivs ist.

Dass durch Fernrohre Sterne sichtbar werden, welche man mit blossem Auge nicht sehen kann, ist demnach nicht sowohl eine Folge der Vergrösserung, als vielmehr des Umstandes, dass bei grosser Oeffnung des Objectivs eine weit grössere Menge von Lichtstrahlen von dem Sterne ins Auge gelangt, als ohne das Fernrohr durch die Pupillenöffnung eingedrungen sein würde. Die raumdurchdringende Kraft der Fernrohre, vermöge deren man gewissermaassen weiter in die Himmelsräume vordringen und Sterne erblicken kann, die ohne Fernrohr unsichtbar

bleiben, ist also vorzugsweise durch die Grösse der Objectivöffnung bedingt.

Anwendung des Polariskops zur Prüfung des Lichtes der Gestirne. 130 Um zu prüfen, ob das Licht des im Jahre 1819 erschienenen Kometen polarisirt sei oder nicht, wandte Arago ein achromatisirtes Kalkspathprisma, Fig. 182, an. Wenn man einen Fixstern durch dasselbe betrachtet, so sind die beiden Bilder stets vollkommen gleich, wie man das Prisma auch um seine Axe drehen mag; ein Beweis also, dass das Licht der Fixsterne nicht polarisirt ist. Schaut man dagegen durch das Prisma nach einem Körper, welcher polarisirtes Licht aussendet, so findet man, dasselbe um seine Axe drehend, bald eine Stellung, bei welcher das eine Bild hell, das andere dunkel ist.

Fig. 182.



Später verbesserte Arago die Vorrichtung dahin, dass er mit dem doppeltbrechenden Prisma ein dünnes Gypsblättchen verband, welches an der dem Auge abgewandten Seite des Prismas so befestigt wird, dass die Schwingungsebenen des Gypsblättchens einen Winkel von 45^0 mit den Schwingungsebenen des Prismas machen (Lehrb. der Physik, 7. Aufl. I. Bd. S. 847). Schaut man nun durch das Prisma und das dünne Gypsblättchen nach einem Körper, welcher polarisirtes Licht aussendet, so erblickt man die beiden Bilder bei gehöriger Stellung des Prismas complementär gefärbt, also je nach der Dicke des Blättchens roth und grün oder blau und gelb u. s. w.

Das so verbesserte Instrument nennt Arago Polariskop.

Nach Arago's Beobachtungen mit dem Polariskop war das Licht des Halley'schen Kometen im Jahre 1835 polarisirt.

Auch das Licht des Donati'schen Kometen (Herbst 1858) soll nach der Behauptung mehrerer Beobachter polarisirt gewesen sein. Mir gelang es mit Hülfe eines Polariskops der oben beschriebenen Art, welches doch schon bei ganz schwach polarisirtem Lichte sehr entschiedene Farben zeigte, kaum zweifelhafte Spuren von Polarisation am Donati'schen Kometen wahrzunehmen.

Mit dem Polariskop untersucht, zeigte die Sonne, wie sich erwarten liess, keine Spur von Polarisation.

Savart hat das Polariskop dadurch noch verbessert und empfindlicher gemacht, dass er zwei unter einem Winkel von 45^0 gegen die Axe geschliffene und gekreuzte Quarzplatten an die Stelle des Gypsblättchens setzte. Durch diese Vorrichtung nach irgend einer Lichtquelle hinschauend, beobachtet man für den Fall, dass das Licht polarisirt ist, eine Reihe geradliniger Farbenstreifen, welche um so brillanter erscheinen, je vollständiger die einfallenden Strahlen polarisirt sind; je unvollständiger dagegen die Polarisation ist, desto matter und schwächer erscheinen die fraglichen Streifen (Lehrbuch, 7. Aufl. I. Bd. S. 884 u. 914).

Wenn man den Vollmond mit dem Polariskop untersucht, so findet man keine Polarisation des Lichtes, was bei der Richtung, in welcher für diesen Fall das von der Sonne kommende Licht vom Monde reflectirt wird, nicht anders zu erwarten ist; dagegen soll sich das Mondlicht, zur Zeit des ersten oder des letzten Viertels mit dem Polariskop untersucht, als polarisirt erweisen. Jedenfalls ist diese Polarisation eine äusserst geringe.

131 **Milchstrasse, Nebelflecken und Sternhaufen.** Wenn man bei vollkommen durchsichtiger Luft in einer mondfreien Nacht den Himmel betrachtet, so erblickt man auf dem schwarzblauen, mit Sternen übersäeten Hintergrunde einen zarten weissen Nebelstreifen, welcher bei unregelmässiger Begränzung mit wechselnder Breite durch eine ganze Reihe von Sternbildern hindurchzieht. Man kann seinen Lauf auf den Sternkarten Tab. III. und Tab. IV. verfolgen. Er zieht östlich vom Sirius vorüber, geht zwischen dem kleinen Hunde und Orion hindurch nach den Sternbildern des Schwans, des Adlers, des Ophiuchus und des Scorpions, um endlich nach der Stelle wieder zurückzukehren, an welcher wir ihn zuerst betrachtet haben.

Fig. 183.



Dieser neblige Streifen, welcher den Namen der Milchstrasse führt, bildet also einen zusammenhängenden Ring, welcher das ganze Himmelsgewölbe in zwei nicht ganz gleiche Theile scheidet. Vom Schwan bis über den Schwanz des Scorpions hinaus theilt sich die Milchstrasse in zwei neben einander herlaufende Streifen, welche einen dunklen nebelfreien Raum inselartig einschliessen.

Ausser dieser in günstigen Nächten leicht aufzufindenden und zu verfolgenden Milchstrasse zeigt sich aber am Himmelsgewölbe noch eine grosse Anzahl kleiner nebliger Flecken, von denen aber nur wenige, wie z. B. der Nebelfleck in der Andromeda, durch sehr gute Augen ohne Fernrohr wahrgenommen werden können, weshalb sie denn auch im Alterthume der Beobachtung ganz entgingen.

Simon Marius entdeckte im Jahre 1612 den ersten Nebelfleck, nämlich den nahe bei dem Sterne ν der Andromeda stehenden, welcher Fig. 183 abgebildet ist und dessen Länge ungefähr $^1/_2$ Grad beträgt. Huyghens entdeckte im Jahre 1656 den sehr unregelmässig gestalteten Nebel Fig. 184 in der Nähe des Sternes i im Wehrgehäng des Orion, welchen ein gutes Auge gleichfalls ohne Fernrohr unterscheiden kann. Halley kannte im Jahre 1716 in Allem nur sechs Nebelflecken; durch die Arbeiten von Lacaille und Messier wurden 90 weitere bekannt, während W. Herschel allein mit Hülfe seiner mächtigen Teleskope deren 2500 entdeckte.

Fig. 184.



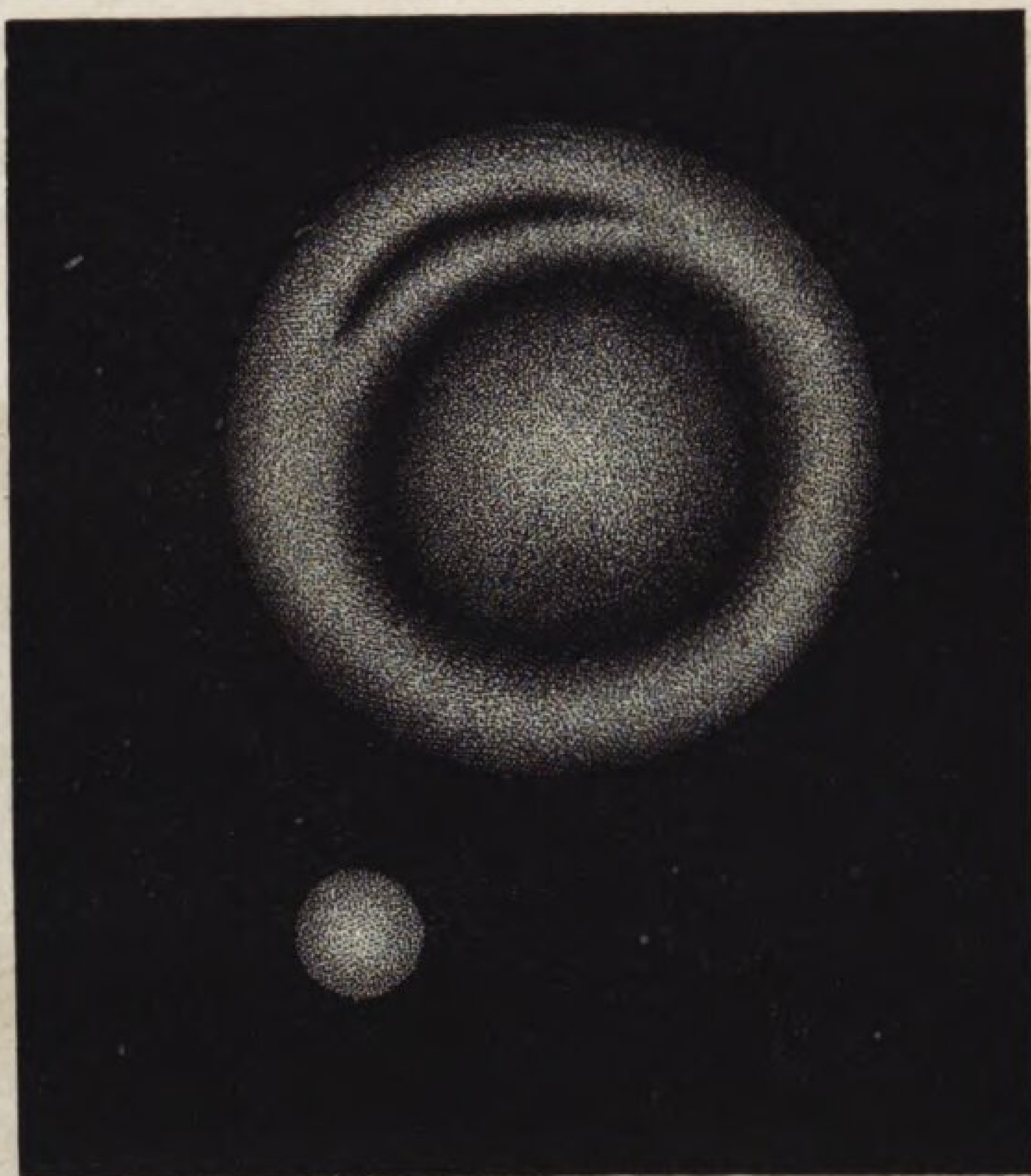
Viele dieser Nebel haben eine durchaus unregelmässige Gestalt, andere dagegen zeigen eine regelmässige Anordnung, wie z. B. der von Messier entdeckte Nebel in den Jagdhunden, Fig. 185 (a. f. S.). Ein anderer ringförmiger Nebel, welcher Fig. 186 abgebildet ist, befindet sich zwischen den Sternen β und γ der Leier.

Eine grosse Anzahl von Nebeln, welche Herschel entdeckte, sind rund oder oval und zeigen, Fig. 187, bei fast gleichförmiger Helligkeit eine ziemlich scharfe Begränzung; wegen ihrer Aehnlichkeit mit dem Ansehen der durch starke Fernrohre betrachteten Planeten wurden sie von ihren Entdeckern planetarische Nebel genannt.

Andere Nebel von gleicher äusserer Gestalt zeigen gegen ihre Mitte hin eine grössere Lichtstärke, und bei einigen ist die Concentration des

Lichtes der Art, dass in der Mitte des Nebels ein heller Punkt, einem verschleierten blassen oder selbst einem hellen Sterne ähnlich, erscheint, wie Fig. 188 (a. f. S.), weshalb sie Nebelsterne genannt werden.

Fig. 185.



Manche Nebel enthalten zwei oder drei solcher heller Punkte, wie z. B. die Nebel Fig. 189 und 190, von denen sich der erstere im Sternbilde des Schützen, der letztere im Sternbilde des Fuhrmanns befindet.

Fig. 186.



Fig. 187.

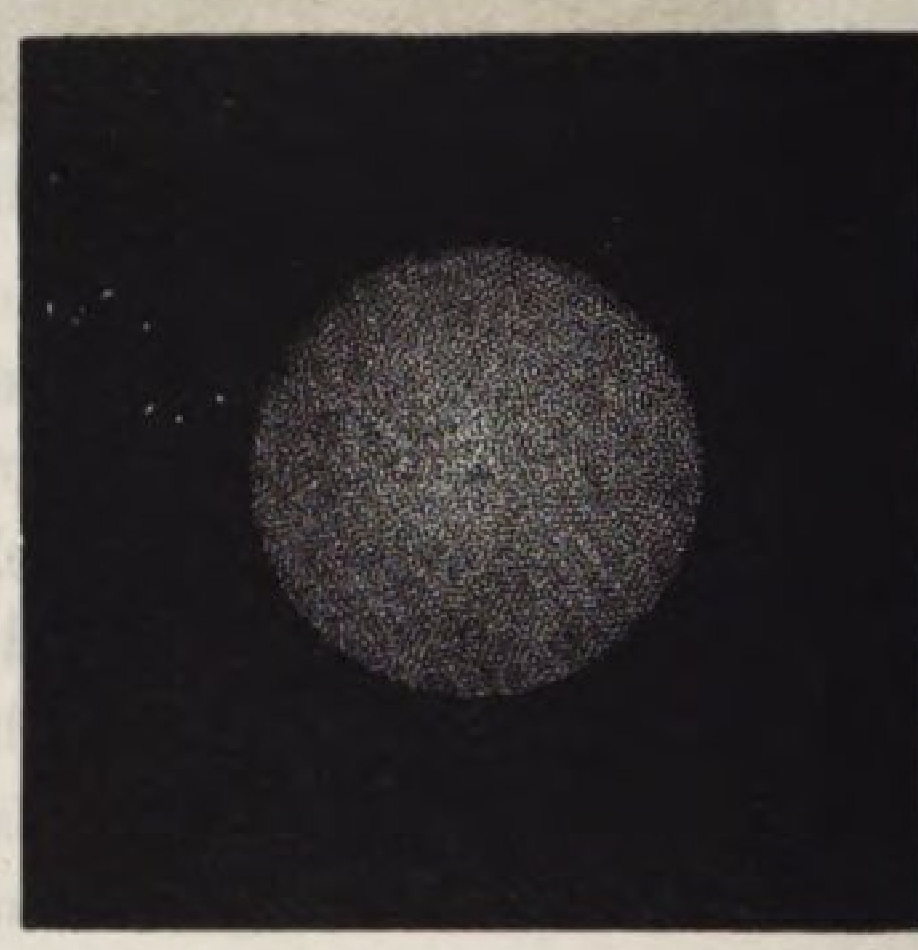


Fig. 191 stellt einen Doppelnebel dar, welcher sich ungefähr auf der Gränze zwischen dem grossen Bären und dem Haar der Berenice befindet.

Die Plejaden (Fig. 192 a. f. S.) erscheinen einem nicht ganz guten Auge nur als ein Nebel, während ein scharfes Auge hier 6 oder 7 einzelne Sterne unterscheidet und man mit einem Fernrohr ihrer 50 bis

Fig. 188.

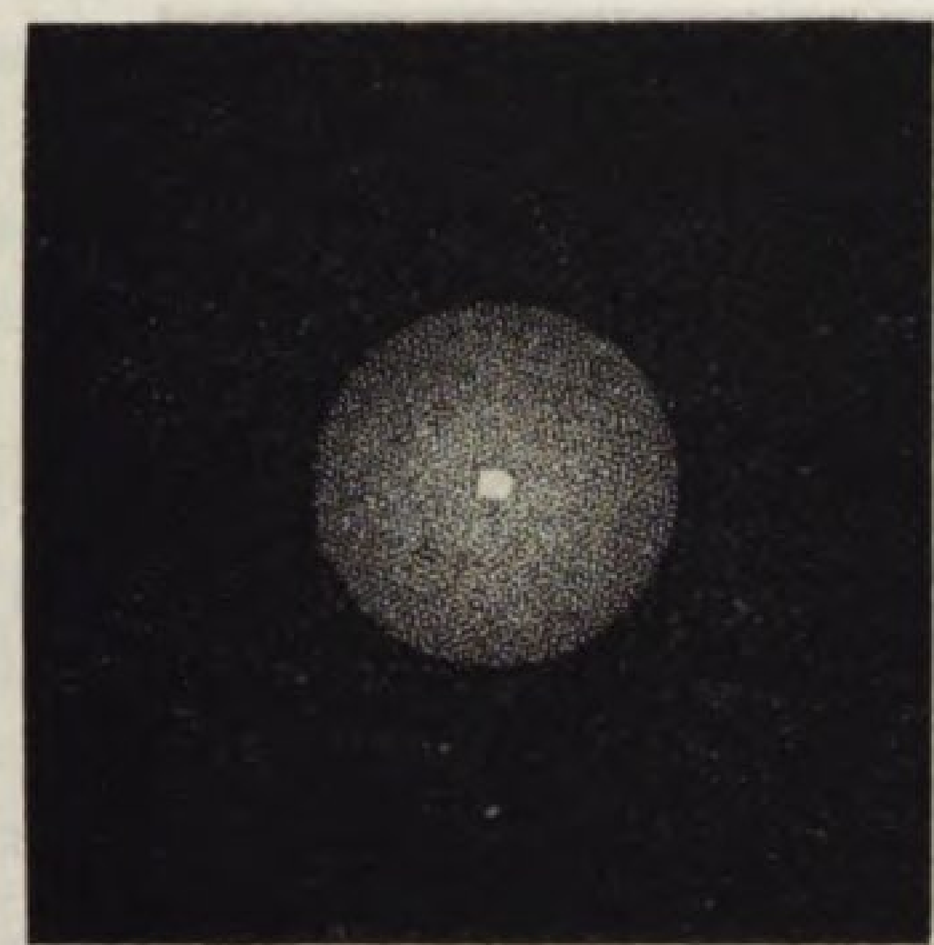
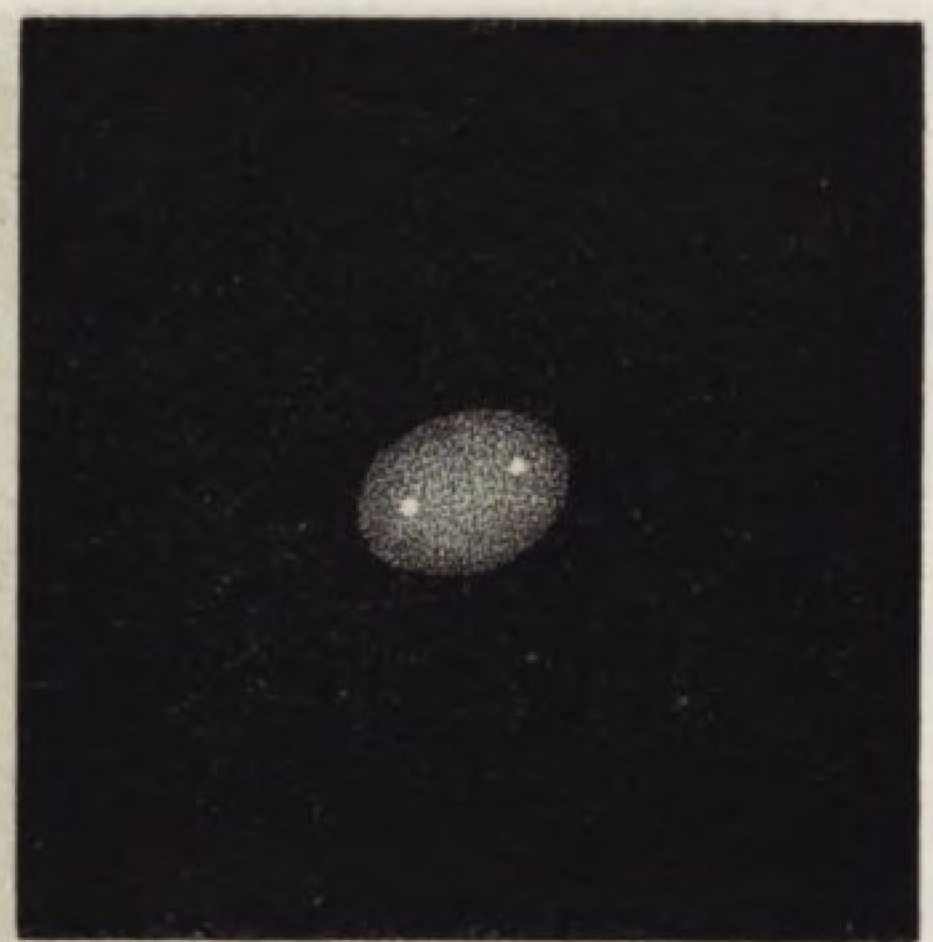


Fig. 189.

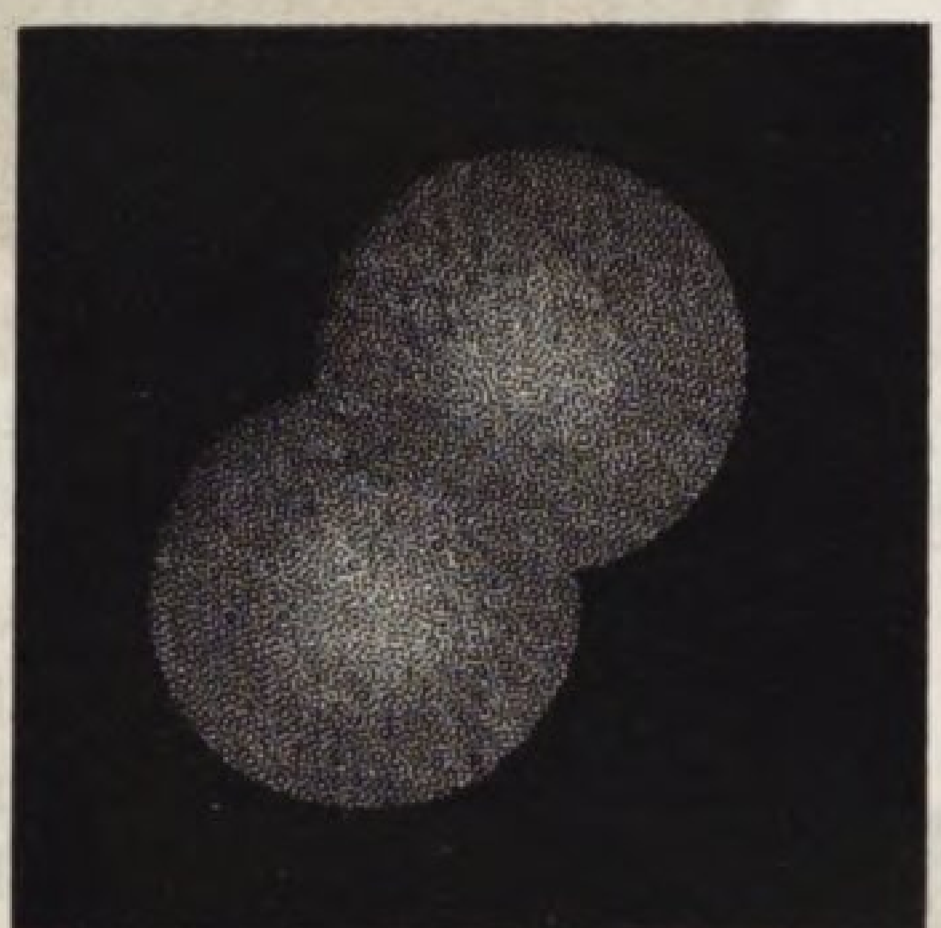


60 zählen kann. Ebenso sieht man oft durch stärkere Teleskope dicht zusammengedrängte Sternhaufen, wo man durch schwächere Fernrohre nur einen Nebel wahrnehmen konnte.

Fig. 190.



Fig. 191.



Die Vergrösserung, welche man zur Auflösung verschiedener Nebel in einzelne Sterne nöthig hat, ist nicht immer die gleiche. Einige Nebel lassen sich schon durch geringere, andere nur durch die stärksten Vergrösserungen und die besten Instrumente auflösen. Fig. 193 stellt einen auflöslichen Nebel im Hercules dar, wie er durch sehr gute und stark vergrössernde Fernrohre gesehen wird.

Die Milchstrasse gehört zu den auflöslichen Nebeln; denn sie erscheint, durch gute Fernrohre betrachtet, aus zahllosen kleinen dichtgedrängten Sternchen zusammengesetzt.

Die Art, wie uns die Milchstrasse erscheint, erklärt sich aus der Annahme, dass die Sterne, aus welchen sie besteht, einen Ring bilden, welcher dem in Fig. 185 abgebildeten ähnlich ist, und dass sich die Sonne sammt ihren Planeten nahezu in der Mitte dieses Ringes befinde.

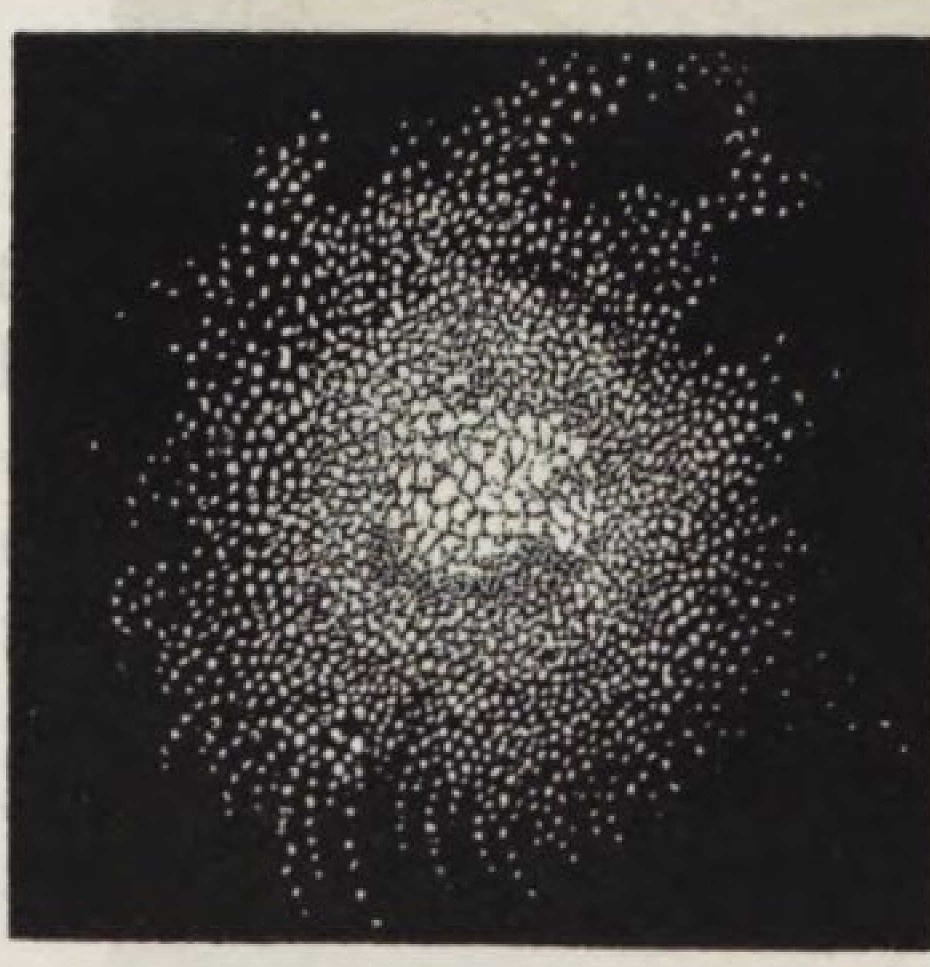
Obgleich durch Anwendung stets besserer Instrumente immer mehr Nebel aufgelöst wurden, so war doch nicht anzunehmen, dass alle Nebel aus einzelnen Sternen zusammengesetzt sind; sondern es schien wahr-

Fig. 192.



scheinlicher, dass viele der unauflöslichen Nebel wirklich aus einem diffusen nebelartigen Stoffe bestehen, so dass diese Nebel von ähnlicher Natur sind, wie die Kometen.

Fig. 193.



Für diese Ansicht, welche, wie wir später noch sehen werden, durch die Spectralanalyse auf das Vollständigste bestätigt wird, spricht namentlich der Umstand, dass es Nebel giebt, welche eine Reihe von Zwischenstufen zwischen den planetarischen Nebeln und den Nebelsternen bilden, d. h. Nebel, welche der Reihe nach immer stärkere Concentration des Lichtes in der Mitte zeigen, wodurch Herschel auf die Idee geführt wurde, dass der diffuse Stoff, aus welchem diese Nebel bestehen, sich nach und nach verdichtet und dass in Folge dieser Verdichtung Sterne entstehen.

Indem Laplace die Ideen Herschel's über die progressive Verdichtung der Nebel und ihre Umwandlung in Sterne adoptirte, und dieselben auf unser Planetensystem anwandte, gelang es ihm, die Bildung desselben auf eine sehr befriedigende Weise zu erklären.

Laplace nimmt an, dass ursprünglich die Sonne und alle Körper, welche gegenwärtig um dieselbe rotiren, eine einzige, sich noch über die Bahn des äussersten Planeten hinaus erstreckende Nebelmasse bildete. In Folge der fortschreitenden Erkaltung sind nun aber nach und nach immer wachsende Quantitäten dieser Nebelmasse in ihrem Centrum condensirt worden, so dass sich ein Kern bildete, dessen Masse allmälig wuchs.

War nun aber ursprünglich die Winkelgeschwindigkeit für alle um dieselbe Axe rotirenden Nebelpartieen die gleiche, so musste die absolute Geschwindigkeit für die entfernteren Nebelmassen grösser sein, als für die der Axe näher liegenden; wenn also eine von der Axe entferntere Nebelmasse in Folge ihrer Condensation auf den bereits gebildeten Centralkörper stürzt, so bringt sie ihre grössere absolute Geschwindigkeit mit und bewirkt auf diese Weise, dass der Centralkörper nach und nach rascher rotirt als die übrige Nebelmasse. Die gegenseitige Reibung der einzelnen Partieen der Nebelmasse wird nun aber die Bewegung derjenigen beschleunigen, welche weniger schnell rotiren, dagegen eine Verzögerung der schneller rotirenden bewirken, nach einer gewissen Zeit wird also die Winkelgeschwindigkeit der gesammten Masse jedenfalls grösser sein müssen als sie ursprünglich war.

In Folge der mit zunehmender Condensation immer zunehmenden Rotationsgeschwindigkeit muss aber endlich ein Moment eintreten, in welchem die Centrifugalkraft der Nebeltheilchen, welche sich in der Nähe des Aequators der rotirenden Nebelmasse befinden, grösser wird als die Kraft, mit welcher sie gegen den Mittelpunkt der Nebelmasse gravitiren, sie werden sich von der übrigen Nebelmasse trennen, und einen abgesonderten Nebelring bilden, welcher nach derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit um den Mittelpunkt rotirt, welche er im Moment der Abtrennung hatte.

So lösen sich denn nach und nach mehrere Nebelringe von der Centralmasse ab, welche im Mittelpunkte des ganzen Systems condensirt die Sonne bildet, während aus der Condensation der Nebelringe die Planeten hervorgehen.

Aus der Laplace'schen Hypothese über die Bildung unseres Planetensystems erklärt sich nun auch, dass alle Planeten in der gleichen Richtung um die Sonne laufen. Ein in und mit unserem Planetensystem gebildeter Körper kann unmöglich eine rückläufige Bewegung haben. Da nun aber viele Kometen sowohl wie auch Meteorite rückläufig sind, so ist klar, dass dieselben ursprünglich unserem Planetensysteme fremd, von aussen her in dasselbe eingedrungen sind.

Schiaparelli spricht sich über die Art, wie er sich die Bildung meteorischer Wolken denkt, welche in das Sonnensystem eingedrungen und mit der Erde zusammentreffend als Sternschnuppen erscheinen, ungefähr in folgender Weise aus: „Eine glühende Gasmasse von sehr bedeutenden Dimensionen und sphärisch abgerundeter Gestalt wird, wie wir eben gesehen haben, bei ihrer allmäligen Abkühlung und Conden-

sation einen Fixstern bilden, welcher, etwa wie unsere Sonne, noch von einem Planetensystem umgeben sein kann. Eine solche Gasmasse aber, von geringeren Dimensionen und unregelmässig verzweigter Form, wird an ihren hervorragenden und vom Mittelpunkte entfernteren Partieen eine raschere Abkühlung erfahren, wobei sich dann viele, ja unzählige isolirte kleine Concentrationskerne bilden. Tritt eine solche Concentration auf der Oberfläche ein, während der Centralkörper sich noch in Gasform befindet, so wird ein solches System, von der Sonne angezogen, einen Kometen liefern, welcher von einem Meteorstrom begleitet ist; erfolgt aber die Condensation in gleicher Weise durch die ganze Masse hindurch, so bildet sich eine kosmische Wolke, welche einen Sternschnuppenstrom ohne Kometen erzeugt.

Wenn nun eine solche, aus unzählig vielen kleinen Körperchen bestehende kosmische Wolke in die Anziehungssphäre der Sonne gelangt, so wird sie in eine parabolische Strömung verwandelt, die Jahre, Jahrhunderte, Jahrtausende brauchen kann, um einen Strom von verhältnissmässig geringer Breite bildend, Stück für Stück durch das Perihel zu gehen. Von den zahlreichen Meteorschwärmen, welche auf diese Weise in unser Sonnensystem gelangen, werden uns nur diejenigen sichtbar, welche auf ihrer Bahn mit der Erde zusammenstossen".

Die in parabolischer Bahn sich bewegenden Meteorite kehren nach ihrem Durchgang durch das Perihel in den Weltraum zurück. Unter Umständen kann aber ein Theil eines in parabolischer Bahn laufenden Meteoritenstromes durch den störenden Einfluss eines Planeten von bedeutender Masse in eine elliptische Bahn geworfen werden, wie dies nach Leverrier's Ansicht für den Novemberschwarm durch den Uranus geschah, dessen Bahn dem Aphel und dem aufsteigenden Knoten der Leonidenbahn sehr nahe liegt (Vergl. Fig. 157, Seite 247).

132 **Die Spectra der Fixsterne und der Nebelflecken.** Fraunhofer, der Entdecker der dunklen Linien im Sonnenspectrum, hat auch bereits die Spectra einiger Planeten und Fixsterne untersucht. Bei den ersten der hierher gehörigen Versuche (Gilb. Ann. LVI, 308) fiel das vom Spiegel des Heliostats reflectirte Sternlicht auf das vor dem Theodolith-Fernrohr aufgestellte Prisma, ohne erst durch eine enge Oeffnung gegangen zu sein. Um dem Sternspectrum einige Breite zu geben, wie sie zur Beobachtung der dunklen Linien nöthig ist, setzte Fraunhofer vor das Objectiv des Fernrohrs (13''' Durchmesser) noch eine Cylinderlinse von grosser Brennweite, deren Axe rechtwinklig zur brechenden Kante des Prismas gestellt war.

Mit dieser Vorrichtung erkannte Fraunhofer im Spectrum der Venus die Linien D, E, b und F. Im Spectrum des Sirius beobachtete er drei dunkle Streifen im Grün und Blau, welche mit denen des Sonnenlichtes keine Aehnlichkeit zu haben schienen.

Später (Gilb. Ann. LXXIV, 375) wandte Fraunhofer zur Beobach-

tung der Sternspectra ein grösseres Fernrohr an, dessen Objectiv 4 Zoll Oeffnung hatte. Vor diesem Objectiv wurde ein Flintglasprisma angebracht, dessen Flächen noch grösser waren, als die Oberfläche des Objectivs. Der brechende Winkel dieses Prismas betrug $37^0\ 40'$ und es brachte als Minimum eine Ablenkung von ungefähr 26^0 hervor. Es wurde nun ein zweites kleines Fernrohr mit dem grossen in der Weise fest verbunden, dass die Axen beider Fernrohre einen Winkel von 26^0 mit einander machten, und dass, wenn das kleine Fernrohr direct auf einen zu beobachtenden Stern gerichtet war, im grossen Fernrohr das durch das Prisma erzeugte Spectrum desselben beobachtet werden konnte. Mit dieser Vorrichtung wurden im Wesentlichen die schon früher gemachten Beobachtungen bestätigt.

Durch Kirchhoff's Entdeckung in Betreff des Ursprungs der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum haben nun auch die Spectra der Fixsterne ein erhöhtes Interesse gewonnen, und in Folge dessen sind sie der Gegenstand neuerer und eingehenderer Untersuchungen geworden, welche vorzugsweise durch Huggins und Miller in England, und durch Secchi in Rom ausgeführt wurden. Bei allen neueren Apparaten, welche zur Beobachtung der Fixsternspectra angewandt wurden, sind die analysirenden Prismen nicht vor dem Objectiv des Fernrohres, sondern am Ocularende desselben angebracht.

Wenden wir uns zunächst zu den Untersuchungen von Huggins und Miller. Das von ihnen benutzte, parallaktisch aufgestellte und durch ein Uhrwerk bewegte Fernrohr hat ein Objectiv von 8 Zoll Durchmesser. An das Ocularende desselben ist ein Rohr C, Fig. 194, angeschraubt, in welchem das einerseits durch die Cylinderlinse a geschlossene Rohr B etwas hin- und hergeschoben werden kann. Die Cylinderlinse a hat 14 Zoll Brennweite und ihre Axe steht rechtwinklig zu den brechenden Kanten der analysirenden Prismen.

Etwas hinter a befindet sich das Rohr D. Sein vorderes, gegen zwei Zoll von a entferntes Ende ist bis auf einen engen, mit der brechenden Kante der Prismen parallelen Spalt geschlossen, welcher sich im Brennpunkt der das andere Ende des Rohres D schliessenden Collimatorlinse g (4,7″ Brennweite) befindet.

Die vom Spalt aus divergirenden, durch die Linse g parallel gemachten Strahlen werden endlich, nachdem sie noch die Flintglasprismen s und s' (60^0 brechender Winkel) durchlaufen haben, durch das kleine Fernrohr F (von 5,7facher Vergrösserung) beobachtet.

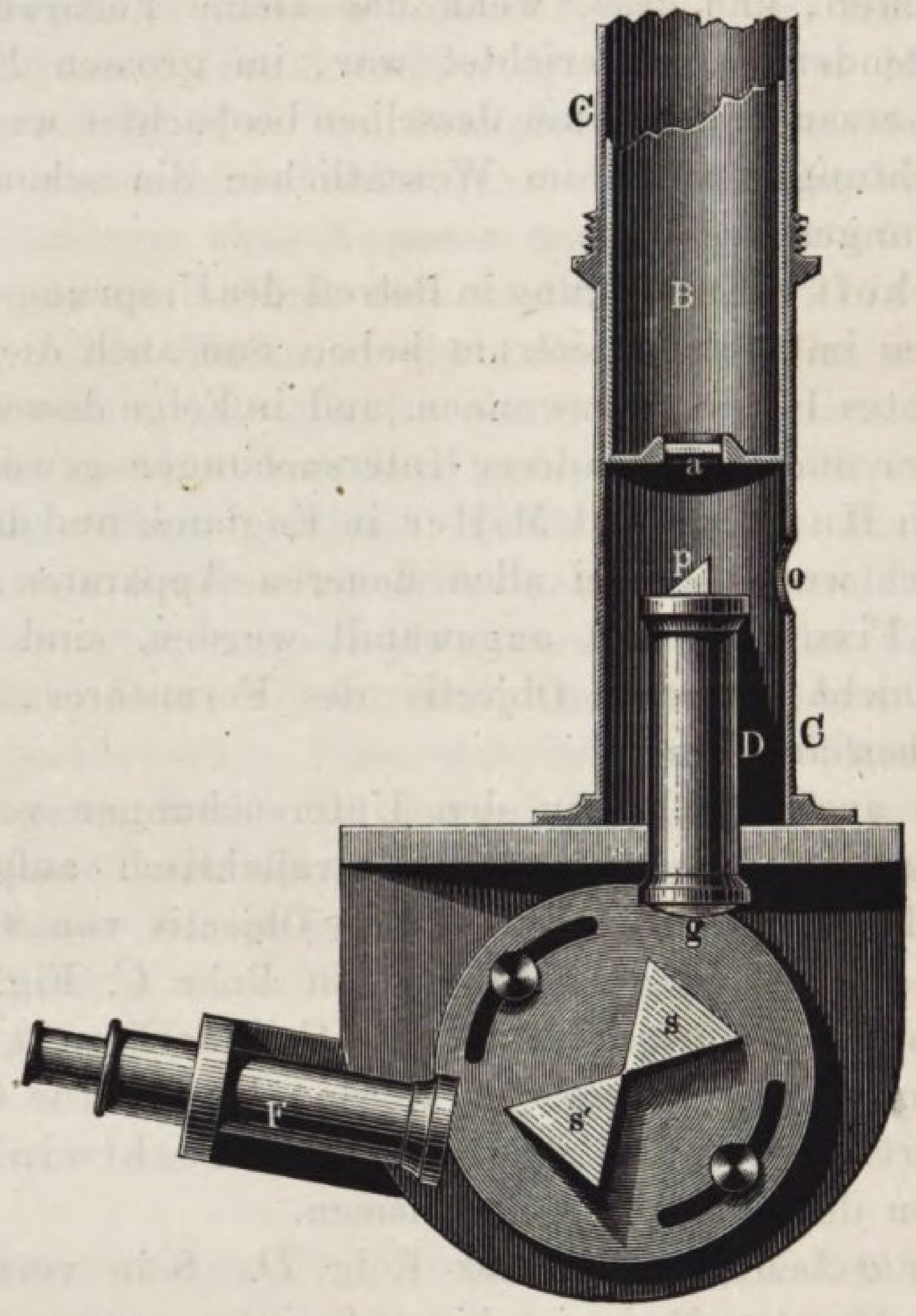
Das Fernrohr F ist übrigens nicht fest, wie es der Einfachheit halber in Fig. 193 gezeichnet ist, sondern es kann in einer zur brechenden Kante der Prismen rechtwinkligen Ebene mittelst einer Mikrometerschraube gedreht werden.

Um das Spectrum der Gestirne mit dem farbiger Flammen oder elektrischer Funken vergleichen zu können, ist die Hälfte des Spaltes am vorderen Ende des Rohres D durch ein rechtwinkliges Prisma p ge-

schlossen, welches mittelst totaler Reflexion die durch die Oeffnung *o* von der fraglichen Lichtquelle einfallenden Strahlen in die gleiche Richtung wie die vom Stern kommenden Strahlen bringt, so dass man das Spectrum des Sternes unmittelbar über dem jener Lichtquelle erhält.

Für die Beobachtung lichtschwacher Objecte, wie z. B. der Nebelflecken, wurde nur ein analysirendes Prisma in Anwendung gebracht.

Fig. 194.



Solche Objecte, welche im Fernrohr merkliche Dimensionen haben, wie der Mond, die Planeten und Nebelflecke, sind ohne die cylindrische Linse *a* beobachtet worden.

Wenn es sich nur um die Beobachtung der Fixsternspectra und nicht um die Vergleichung derselben mit dem Spectrum irdischer Lichtquellen handelt, kann man das Rohr *D* mit dem Spalt, dem Prisma *p* und der Collimatorlinse *g* weglassen.

Die mit diesem Apparat erzielten Resultate sind im Wesentlichen folgende.

Da Mond und Planeten nur mit reflectirtem Sonnenlicht leuchten, so können sie auch nur ein durch ihre Atmosphäre modificirtes Sonnenspectrum zeigen. Im Spectrum des Mondes hat man kein Anzeichen einer Mondatmosphäre wahrnehmen können. Das Jupiters-Spectrum zeigt Absorptionsstreifen, welche zum Theil mit denen der Erdatmosphäre

zusammenfallen, zum Theil aber auch der Erdatmosphäre ganz fremd sind, welche also anzeigen, dass in der Atmosphäre des Jupiter Gase und Dämpfe vorkommen, welche in der Erdatmosphäre fehlen. Das schwache Spectrum des Saturn ist dem des Jupiter ähnlich. Im Spectrum des Mars zeigen sich bemerkenswerthe Liniengruppen im brechbarsten Theile des Spectrums. Im Spectrum der Venus hat man, obgleich es sehr glänzend ist und die Fraunhofer'schen Linien sehr deutlich zeigt, keine besondere Linien entdecken können, welche die Anwesenheit einer Atmosphäre verriethen. Das Fehlen solcher Linien kann hier dem Umstande zugeschrieben werden, dass das Licht nicht von der Oberfläche des Planeten, sondern durch Wolken reflectirt wird, welche in einer gewissen Höhe über der Oberfläche schweben.

Die Fixsterne geben uns, obgleich sie entfernter und von geringerem Glanze sind, als der Mond und die Planeten, doch vollständigere Anzeichen ihrer innersten Natur, weil sie selbstleuchtende Körper sind. Die Vergleichung der Fixsternspectra mit den Spectren verschiedener metallischer Elemente macht es nun möglich, zu ermitteln, welche Stoffe in dampfförmigem Zustande in ihrer Atmosphäre enthalten sind (Lehrbuch, 7. Aufl. I.).

Im Spectrum des Aldebaran finden sich die dunklen Linien C und F, wodurch die Gegenwart von Wasserstoff, und die Linie D, wodurch die Gegenwart von Natrium nachgewiesen ist. Ferner ist durch die Beobachtung der entsprechenden dunklen Linien für Aldebaran die Gegenwart von Magnesium, Calcium, Eisen, Wismuth, Tellur, Antimon und Quecksilber nachgewiesen; dagegen fehlen im Spectrum dieses Fixsterns die dunklen Linien des Stickstoffs, des Kobalts, des Bleies, des Zinnes u. s. w.

Im Spectrum von α Orionis (Betegeuze) kommen die dunklen Linien vor, welche die Gegenwart von Natrium, Magnesium, Calcium, Eisen und Wismuth constatiren, dagegen fehlen die Wasserstofflinien, ferner die Linien für Stickstoff, Zinn, Barium, Silber, Cadmium u. s. w. Das Fehlen der Wasserstofflinien C und F im Spectrum dieses und anderer Fixsterne beweist, dass diese Linien nicht von dem Wasserdampfe unserer Erdatmosphäre herrühren können.

In gleicher Weise haben Huggins und Miller noch etwa 60 andere Sterne untersucht, und gefunden, dass alle, wenigstens einige, der Sonne und der Erde gemeinschaftliche Elemente enthalten. So enthält β Pegasi Natrium, Magnesium und wahrscheinlich Barium.

Sirius enthält Natrium, Magnesium, Eisen und Wasserstoff.

Wega und Pollux (β geminorum) enthalten Natrium, Magnesium und Eisen.

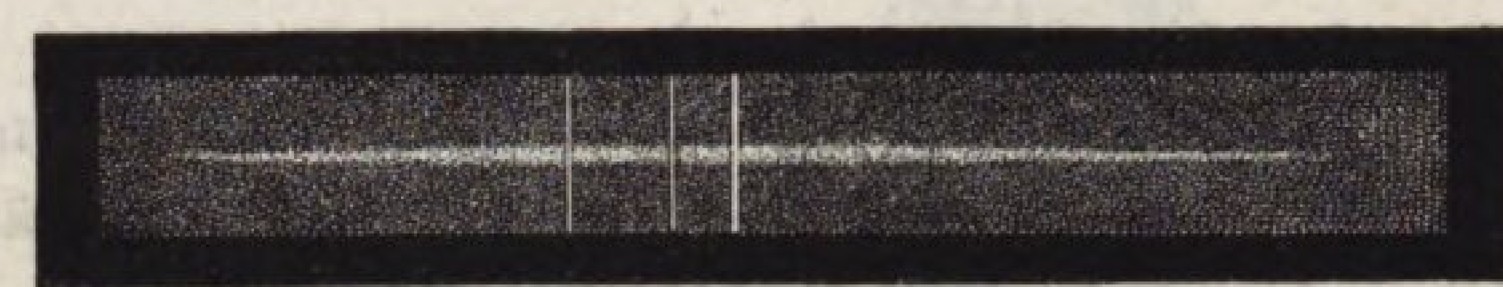
Also überall Natrium und Magnesium.

Während in dem Spectrum weisser Sterne, z. B. dem des Sirius, die dunklen Linien ziemlich gleichförmig über das ganze Spectrum vertheilt erscheinen, treten bei farbigen Sternen dichte Gruppen dunkler

Linien, Schattenparthieen bildend, in demjenigen Theile des Spectrums auf, dessen Licht in der Färbung des Sternes zurücktritt, also im Gelb und Orange bei den bläulichen Sternen, im Blau bei den gelben und röthlichen.

Ein höchst überraschendes Resultat ergab sich, als Huggins im August 1864 das Spectrum eines kleinen aber verhältnissmässig glänzenden Nebelflecks (37 H IV im Drachen) beobachtete. Er fand es nicht etwa dem Spectrum der Fixsterne, sondern dem glühenden Gase ähnlich aus drei hellen Linien bestehend, Fig. 195, von denen die hellste (in

Fig. 195.



unserer Figur die Linie rechts) mit der intensivsten aus der Gruppe der für Stickstoff charakteristischen Linien, die schwächste aber (die Linie links) mit der Linie F des Wasserstoffspectrums zusammenfällt. Die mittlere der drei hellen Linien, welche das Spectrum dieses Nebelflecks bilden, hat keine entsprechende unter den hellen Linien der 30 irdischen Elemente, welche damit verglichen wurden.

Diese Beobachtung beweist, dass der fragliche Nebelfleck nicht etwa ein Haufen gesonderter Sterne, sondern dass er ein wirklicher Nebel ist. Ein derartiges Spectrum kann nicht von einem glühenden festen oder flüssigen, sondern nur von einem in gasförmigem Zustande glühenden Körper herrühren.

Ausser diesen hellen Linien sah man noch ein ausserordentlich schwaches continuirliches Spectrum, welches keine merkliche Ausdehnung in die Breite hatte, und welches auf die Existenz eines kleinen leuchtenden aber nicht gasförmigen Kernes hinweist.

Es ist klar, dass die Beobachtung solcher Objecte mit dem Prisma wegen ihrer Lichtschwäche äusserst schwierig ist. Sie ist nur bei ganz klarem Himmel und bei Abwesenheit des Mondes möglich.

In den Jahren 1865 und 1866 hat Huggins 60 Nebelflecke und Sternhaufen untersucht; ungefähr $1/3$ derselben gaben ein dem oben besprochenen ähnliches Spectrum, mit einer oder mit zwei oder mit drei hellen Linien. Zu den letzteren gehört auch der Nebel im Schwertgriff des Orion. Das Spectrum eines Nebelflecks (18 H IV) zeigt vier helle Linien.

Alle wirklichen Sternhaufen, welche durch das Teleskop in getrennte glänzende Punkte aufgelöst werden, geben ein Spectrum von continuirlichem Ansehen und man ist berechtigt, anzunehmen, dass alle bis jetzt noch nicht aufgelösten Nebel, welche gleichfalls ein continuirliches Spectrum zeigen, wie z. B. der grosse Nebel der Andromeda, gleichfalls Sternhaufen sind.

Secchi in Rom wandte zur Untersuchung der Sternspectra Geradschau-Spectroskope an, welche in Paragraph 134 näher besprochen werden sollen, da derselben in dem entsprechenden Abschnitt meines Lehrbuchs der Physik noch keine Erwähnung geschehen ist. Secchi hat seine Beobachtungen auf mehrere hundert Fixsterne, und zwar bis zu solchen siebenter Grösse ausgedehnt. Die beobachteten Spectra mit einander vergleichend, fand er, dass sie sich in drei Hauptgruppen theilen oder mit anderen Worten, dass sie sich auf drei Haupttypen zurückführen lassen und dass man häufig in derselben Gegend des Himmels auch Sterne desselben Typus findet.

Der erste Typus enthält die gelb oder roth gefärbten Sterne, wie α des Orion, α des Scorpion, φ des Pegasus u. s. w. In ihrem Spectrum zeigen sich breite dunkle Bänder, was darauf hindeutet, dass sie mit einer sehr dichten Atmosphäre umgeben sind.

Der zweite Typus umfasst die weissen und schwach gefärbten Sterne, deren Spectra, dem Sonnenspectrum ähnlich, feine scharfe dunkle Linien zeigen. In diese Classe gehören: Arcturus, α des grossen Bären, β des Adlers, Capella, Procyon u. s. w.

Zum dritten Typus endlich gehören die weissen und bläulichen Sterne, wie Sirius, Wega, α des Adlers u. s. w., bei welchen ausser den Linien, wie sie bei den Sternen des zweiten vorkommen, noch einige sehr starke Streifen vorkommen, von denen zwei mit den Wasserstofflinien C und F zusammenfallen, während manchmal im Violett noch eine dritte stark dunkle Linie erscheint.

Eine merkwürdige Ausnahme bildet der Stern γ der Cassiopea, in welchem die Wasserstofflinie F als eine helle erscheint.

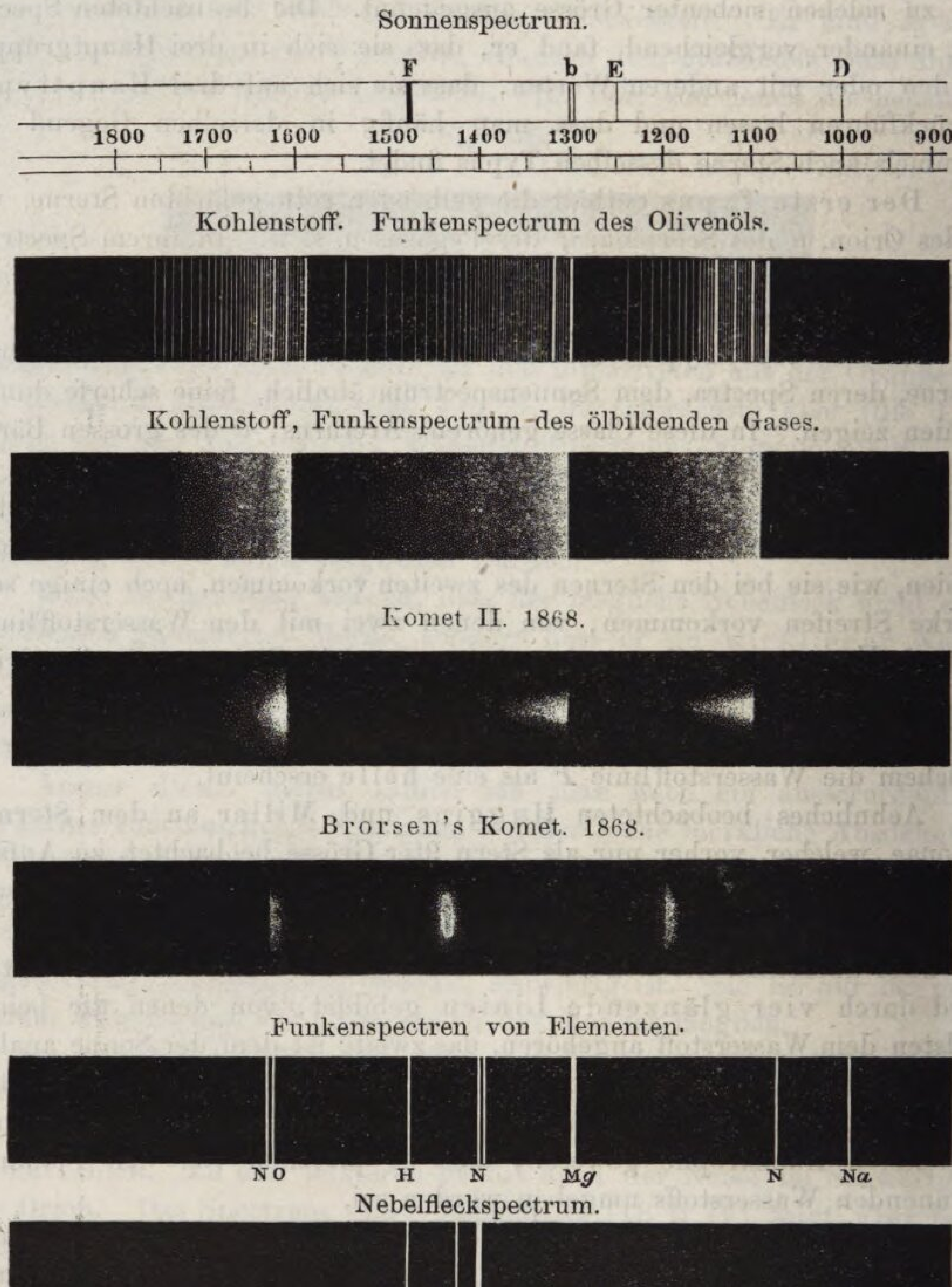
Aehnliches beobachteten Huggins und Miller an dem Stern T coronae, welcher, vorher nur als Stern 9ter Grösse beobachtet, zu Anfang Mai 1866 zu einem Stern 2ter Grösse aufleuchtete, um dann in zwölf Tagen wieder bis zur 8ten Grösse herabzusinken. Das Spectrum zeigte sich aus zwei übereinanderfallenden Spectren zusammengesetzt. Das erstere wird durch vier glänzende Linien gebildet, von denen die beiden hellsten dem Wasserstoff angehören, das zweite ist dem der Sonne analog. Das plötzliche Aufleuchten dieses Gestirns scheint darauf hinzudeuten, dass es der Sitz einer grossen, von ausserordentlicher Gasentwickelung begleiteten Katastrophe gewesen, dass es plötzlich von den Flammen brennenden Wasserstoffs umgeben worden sei.

Klinkerfues hält es für wahrscheinlich, dass die absorbirende Atmosphäre, welche die dunklen Linien des einen Spectrums erzeugt, ein anderes Centrum habe als die glühende, dass also T coronae als ein Doppelstern zu betrachten sei.

Das Spectrum der Kometen. Zwei kleine Kometen, welche 133
1866 und 1867 erschienen, gaben nach Huggin's schwache continuirliche Spectra mit einzelnen hellen Linien. Genauer wurde im Jahre 1868

der viel hellere Brorsen'sche Komet untersucht, dessen in Fig. 196 dargestelltes Spectrum drei helle Streifen zeigte, deren mittelster am hellsten war. Dieser Beobachtung zufolge ist es wohl kaum zweifelhaft, dass die

Fig. 196.



Kometen aus glühenden Gasmassen bestehen, dass sie also selbstleuchtend sind und dass nur einzelne Theile derselben (wohl vorzugsweise die Schweife) Sonnenlicht reflectiren. Von welchem glühenden Gase aber

die hellen Streifen des Brorsen'schen Kometen herrühren, ist noch nicht ermittelt.

Huggins untersuchte spectroskopisch auch das Licht des Kometen von Winnecke, dessen teleskopische Erscheinung in Fig. 197 dargestellt ist. Das gleichfalls in Fig. 196 dargestellte Spectrum desselben zeigte ebenfalls drei helle Streifen, welche nach dem rothen Ende des Spectrums hin am glänzendsten waren und nach der anderen Seite hin sich allmälig abschwächten. Der Lage nach fielen aber die Lichtstreifen im Spectrum dieses Kometen (II. des Jahres 1868) nicht mit denen des Brorsen'schen Kometen zusammen, dagegen zeigten sie die auffallendste Aehnlichkeit mit der in Figur 196 gleichfalls dargestellten Modification des Kohlenstoffspectrums, welche man erhält, wenn man den Inductionsfunken durch ölbildendes Gas schlagen lässt. Nach diesem Ergebniss ist es wohl kaum zweifelhaft, dass Kohlenstoff einen Bestandtheil dieses Kometen bildet, wenn es gleich noch gänzlich unbekannt ist, in welchem Zustande dieses so schwerflüchtige Element hier vorkommt.

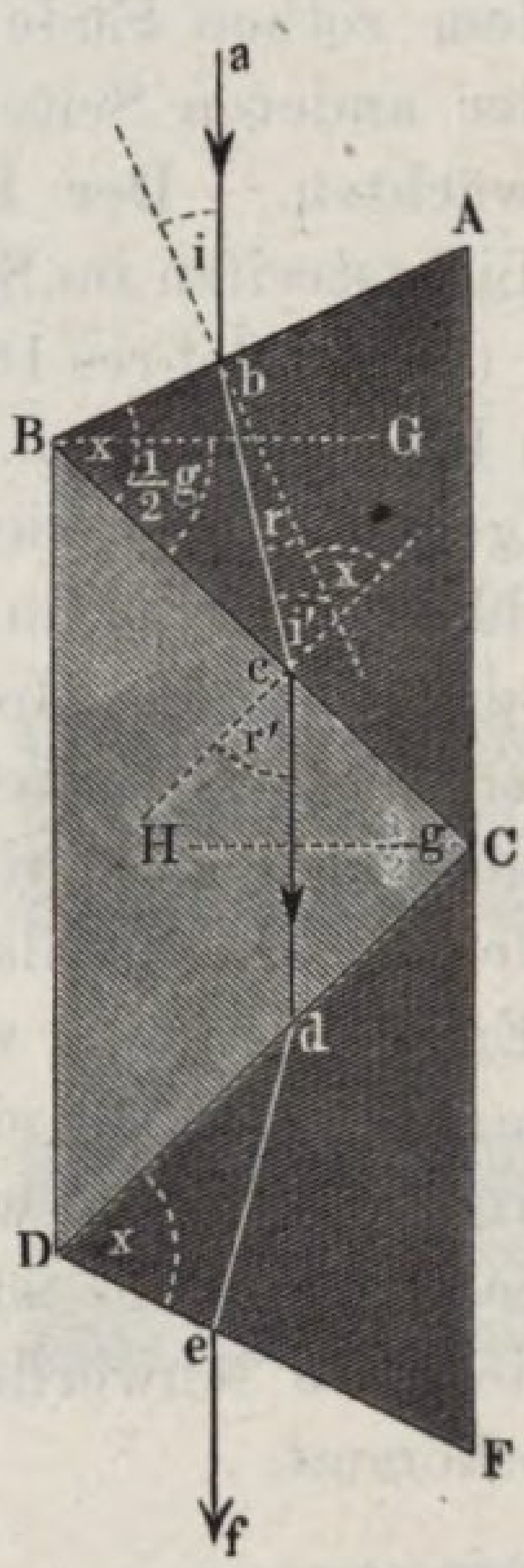
Fig. 197.



Spectralapparate ohne Ablenkung. 134
Der Umstand, dass in den gewöhnlichen Spectralapparaten die Lichtstrahlen durch die Prismen von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden, erschwert in manchen Fällen allerdings die Einstellung, weshalb man darauf dachte, Prismenapparate zu construiren, welche die prismatische Farbenzerstreuung ohne Ablenkung der mittleren (etwa der gelben) Strahlen hervorbringen. Die hier zu lösende Aufgabe ist also die umgekehrte des Achromatismus, welche bekanntlich darin besteht, durch Combination zweier Prismen von verschiedenem Zerstreuungsvermögen die Farbenzerstreuung aufzuheben, während eine Ablenkung übrig bleibt. Der Erste, welcher diese Idee auszuführen suchte, ist Amici, welcher bereits 1860 einen solchen Apparat, ein spectroscope à vision directe, wie es die Franzosen nennen, construirte. An ein gleichschenkliges Flintglasprisma BCD, Fig. 198 (a. f. S.), dessen brechender Winkel bei C mit g bezeichnet

werden mag (bei dem Amici'schen Apparat war $g = 90^0$), sind auf beiden Seiten zwei einander gleiche Crownglasprismen ABC und CDF aufgekittet, deren brechender Winkel x so zu bestimmen ist, dass für Licht von mittlerer Brechbarkeit der eintretende Strahl ab ebenso wie der austretende ef dem das Flintglasprisma symmetrisch durchlaufenden Strahl cd parallel sind.

Fig. 198.



Zur Berechnung von x haben wir zunächst folgende Gleichungen:

$$\sin i = n \cdot \sin r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

und
$$n \cdot \sin i' = m \cdot \sin r'$$

oder
$$n \cdot \sin i' = m \cdot \sin \frac{g}{2} \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

da r' offenbar gleich $\frac{g}{2}$ ist. In diesen Gleichungen bezeichnet n den Brechungsexponenten des Crownglases, m den des Flintglases für die fragliche Strahlenart. Da ab mit cd parallel sein und der letztere Strahl das Flintglasprisma symmetrisch durchlaufen soll, so stehen ab und cd rechtwinklig auf der Linie HC, welche den brechenden Winkel bei C halbirt und rechtwinklig auf der mit ihr parallelen BG; daraus folgt aber

$$i = x - \frac{1}{2}\, g;$$

ferner ist aber auch

$$i' = x - r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Setzt man in Gleichung 2) für $\frac{g}{2}$ seinen Zahlenwerth, so kann man den entsprechenden Zahlenwerth von i' berechnen. Da die Winkel i und r jedenfalls klein genug sind, so kann man ohne merklichen Fehler statt der Gleichung 1) setzen

$$i = nr$$

und wenn man für i seinen obigen Werth setzt

$$x - \frac{g}{2} = nr \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

combinirt man endlich die Gleichungen 3) und 4), so kommt

$$x = \frac{2\, ni' - g}{n - 1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

Für $g = 90^0$, $m = 1{,}63$ und $n = 1{,}53$ (Brechungsexponenten für die Linie D) ergiebt sich aus Gleichung 2)

$$\sin i' = 0{,}75317,$$

also $$i' = 48^0\ 52' = 48{,}866^0$$

und endlich, wenn man diesen Werth von i' mit $g = 90$ und $n = 1{,}53$ in Gleichung 5) setzt,

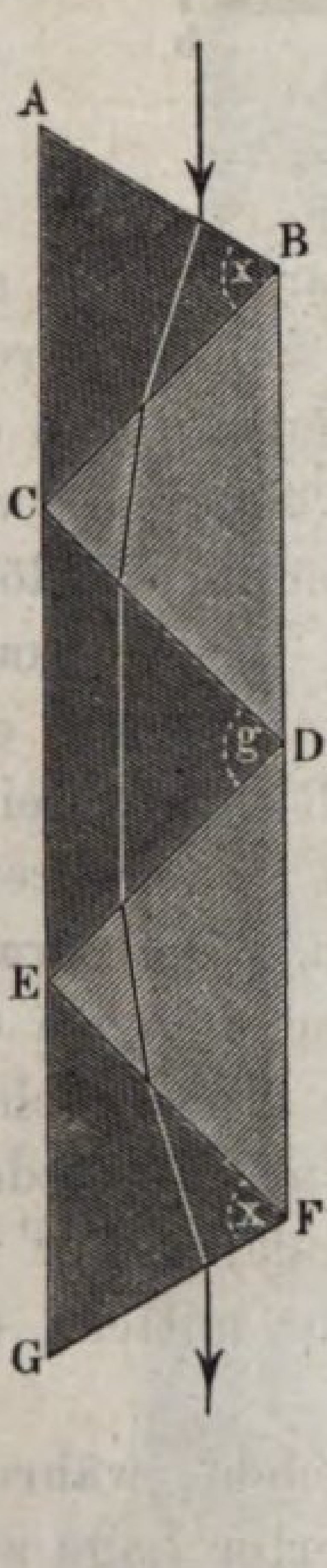
$$x = 55{,}9^0 = 55^0\ 54'.$$

Die nach diesen Daten ausgeführte Prismencombination wird also die gelben Strahlen ohne Ablenkung durchlassen, während die rothen nach der einen, die blauen nach der anderen Seite der gelben hin abgelenkt werden, kurz der Apparat giebt ein Spectrum ohne Ablenkung der gelben Strahlen.

Es versteht sich von selbst, dass bei gleichem Werthe von g der Winkel x doch ein anderer werden muss, wenn man andere Glassorten anwendet, als diejenigen, auf welche sich die obige Berechnung bezieht.

Um ein breiteres Spectrum zu erzielen, combinirte Janssen zwei Flintglasprismen mit drei Crownglasprismen in der durch Fig. 199 erläuterten Weise, so dass ein Crownglasprisma CDE in die Mitte des ganzen Systems zu stehen kam. Während die brechenden Winkel bei C, D und E gleich 90^0 waren, betrug jeder der Winkel x (natürlich für bestimmte Glassorten) 81^0. Secchi bediente sich bei seinen Untersuchungen über das Licht der Gestirne einer solchen Combination, für welche die Winkeldistanz der Fraunhofer'schen Linien B und H $6^0\ 51'$, also fast doppelt so viel betrug, als für ein gewöhnliches Flintglasprisma, dessen brechender Winkel 60^0 beträgt.

Fig. 199.

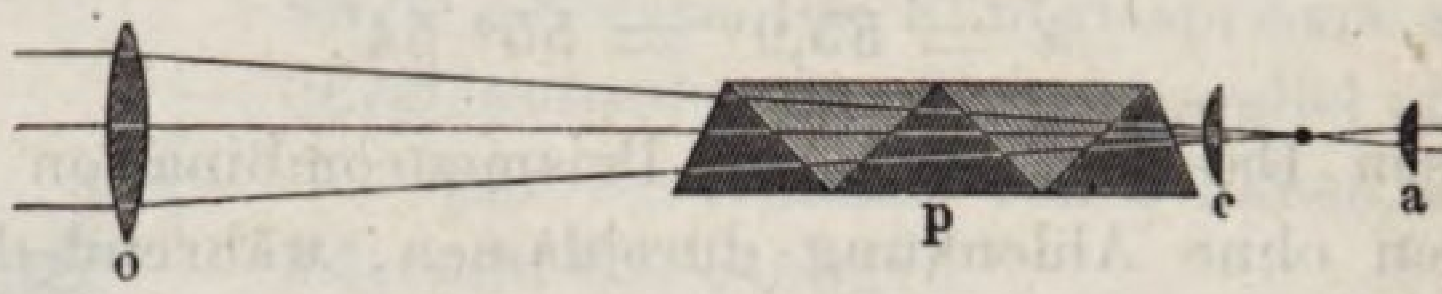


Derartige Prismensysteme werden in ausgezeichneter Weise von Hofmann in Paris, von Merz in München und von Steinheil in München verfertigt.

Um Sternspectra mittelst solchen Prismensystems zu untersuchen, werden dieselben entweder einfach zwischen dem Objectiv o des Fernrohrs und dem Collectivglas c desselben eingesetzt, wie Fig. 200 (a. f. S.) erläutert (a ist die Ocularlinse des Fernrohrs); es kann hier das Collectivglas c durch eine Cylinderlinse ersetzt werden, deren Axe rechtwinklig auf der Kante der Prismen steht, oder man bedient sich des zusammengesetzteren Arrangements, bei welchem die von dem Fernrohrobjectiv o, Fig. 201, kommenden Strahlen zunächst auf die Cylinderlinse c fallen, welche den Brennpunkt f des Objectivs in eine der Kante der Prismen parallele Brennlinie verwandelt. Die von f aus divergirenden Strahlen werden durch die Collimatorlinse d parallel gemacht, und nach ihrem Durchgang durch das Prismensystem p durch ein kleines Fernrohr beobachtet, dessen Objectiv h und dessen Ocular a ist.

Simmler hat die Farbenzerstreuung ohne Ablenkung dadurch hervorgebracht, dass er die aus dem zerstreuenden Flintglasprisma austretenden Strahlen durch Reflexion wieder in die Einfallsrichtung zu-

Fig. 200.



rückführt, und zwar wendet er zu diesem Zweck die totale Reflexion auf der Hypotenusenfläche eines rechtwinkligen Glasprismas an (Pogg. Ann. CXX, 1863). Nach diesem Princip construiren Herrmann und Pfister in Bern Spectroskope ohne Ablenkung mit zwei zerstreuenden Flintglas und zwei reflectirenden Crownglasprismen.

Fig. 201.

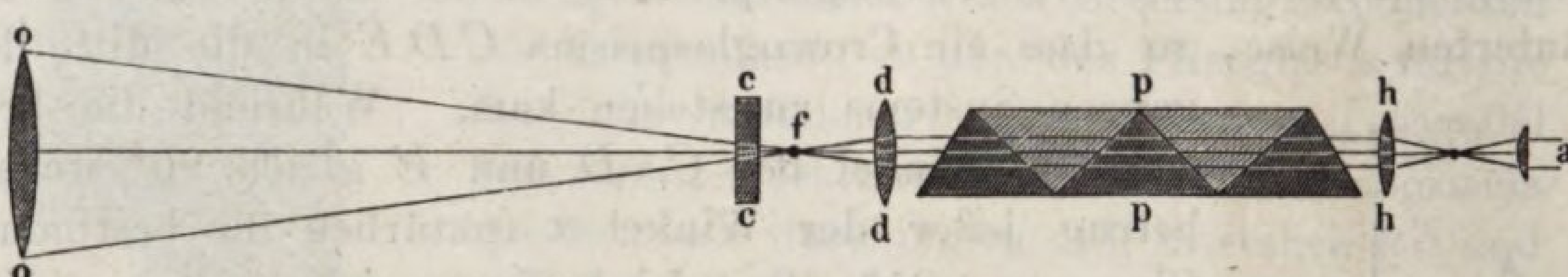


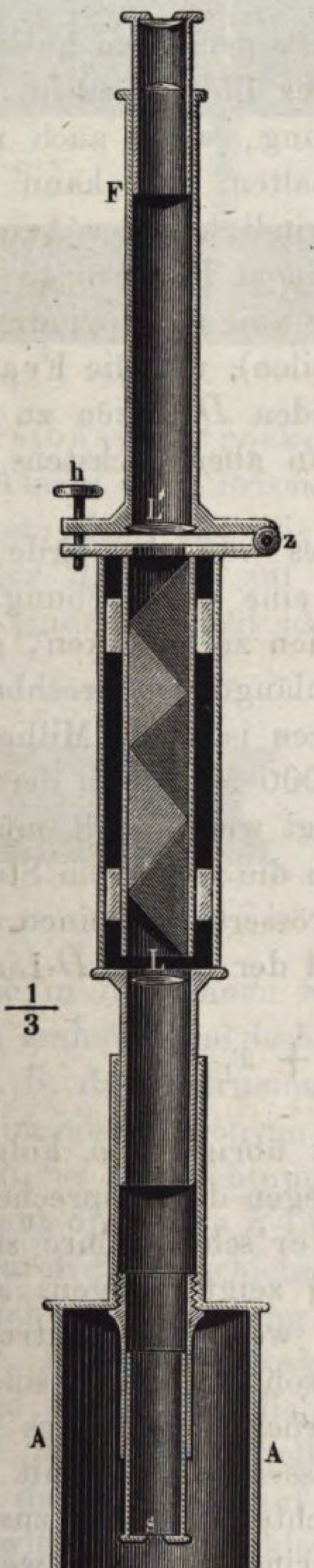
Fig. 202 stellt die spectroskopische Vorrichtung dar, deren sich Zöllner zu der in §. 121 besprochenen Beobachtung der Sonnen-Protuberanzen bediente, und welche mittelst des Schraubengewindes *bb* an den Refractor angeschraubt wird (in $^1/_3$ der nat. Grösse). *s* ist der Spalt, welcher durch eine in der Figur weggelassene, von aussen her in die Röhre *AA* hineinragende Schraube enger und weiter gestellt werden kann. Das Rohr, an dessen Ende die Spalte *s* angebracht ist, kann durch eine gleichfalls in der Zeichnung weggelassene Schraube in der Richtung seiner Axe vor- und rückwärts geschoben werden, um es genau in den Brennpunkt der Collimatorlinse *L* (12^{cm} Brennweite) zu bringen. Die parallel aus der Collimatorlinse austretenden Strahlen werden, nachdem sie das Prismensystem durchlaufen haben, durch die Ocularröhre *F* beobachtet, deren vordere Linse *L'* gleichfalls 12^{cm} Brennweite hat. Um verschiedene Partieen des Spectrums einstellen zu können, ist das Ocularrohr *F* um den Zapfen *z* drehbar, so dass die Richtung seiner Axe mittelst der Schraube *h* fein verstellt werden kann.

Das ganze Spectroskop lässt sich um seine Axe drehen, während die mit dem Gewinde *bb* verbundenen Theile in unveränderter Lage zum Refractor bleiben.

135 **Einfluss der räumlichen Bewegung der Sterne auf ihr Spectrum.** Wenn man sich irgend einer Tonquelle sehr rasch nähert, so wird das Ohr von den Verdichtungswellen, welche der tönende

Körper aussendet, in rascherer Aufeinanderfolge getroffen werden, als wenn die Entfernung zwischen Tonquelle und Beobachter unverändert bliebe, der Ton muss also durch die rasche Annäherung für unser Ohr erhöht werden. Umgekehrt muss der Ton erniedrigt werden, wenn die Entfernung zwischen Beobachter und Tonquelle rasch zunimmt.

Fig. 202.



Diese von Doppler entwickelte Consequenz ist durch Versuche auf Eisenbahnen, und zwar zuerst von Buys-Ballot auf das Vollständigste bestätigt worden.

Das oben angedeutete Princip ist aber für Lichtwellen eben so richtig, wie für Schallwellen, der Versuch Doppler's aber, daraus die Farben mancher Sterne zu erklären, hat den Beifall der Physiker nicht gefunden. Doppler meint nämlich, dass ein an und für sich weisser Stern bei rascher Annäherung gegen die Erde bläulich, bei rascher Entfernung dagegen röthlich erscheinen müsste.

Aber selbst wenn die gegenseitige Annäherung oder Entfernung zwischen einem Fixstern und der Erde von hinlänglicher Geschwindigkeit wäre, so liesse sich dadurch wohl eine Farbenveränderung monochromatischer, aber durchaus nicht eine Farbenveränderung weisser Lichtquellen erklären. Nehmen wir z. B. an, die Geschwindigkeit eines Sternes, welcher weisses Licht aussendet, sei gross genug, um sein Roth für uns in Orange, sein Orange in Gelb u. s. w., sein Violett in das unserem Gesichtssinne nicht wahrnehmbare Ultraviolett zu verwandeln, so würde das verschwundene Roth durch die Bewegung aus dem Ultraroth wieder hergestellt werden, das verwandelte Spectrum würde also wieder aus denselben Farben bestehen, wie das ursprüngliche, wir würden also ohne Prisma nach wie vor den Anblick eines weissen Sternes haben.

Wenn überhaupt eine relative Bewegung der Erde und der Fixsterne irgend einen Einfluss auf die Lichterscheinung der letzteren hat, so kann darüber nur die Spectralanalyse Aufschluss geben. Wenn bei hinreichend rascher Annäherung etwa das Gelb bei der Linie D in Grün verwandelt würde, so würde nur die Doppellinie D im Grün, statt im Gelb zum Vorschein

kommen, es müssten also alle dunklen Linien des Spectrums gegen das violette Ende hin verschoben werden. Die ursprüngliche Lage dieser Linien, wie sie der Geschwindigkeit Null entspricht, wird aber durch ein gleichzeitig beobachtetes irdisches Spectrum, z. B. durch das einer Natronflamme, gegeben.

Huggins hat nun mit einem weit stärkeren als dem oben beschriebenen Apparate eine praktische Ausführung dieser Idee versucht, und allerdings Andeutungen einer solchen Verschiebung, wenn auch noch keineswegs ein vollkommen sicheres Resultat erhalten. Es kann dies nicht auffallen, wenn man bedenkt, dass die Geschwindigkeit der Annäherung oder Entfernung zwischen der Erde und einem Fixstern 43 geographische Meilen in der Secunde betragen müsste (die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn beträgt nicht ganz 5 Meilen), um die Fraunhofer'schen Linien nur um den Abstand der beiden D-Linien zu verschieben. Bei der Mehrzahl der Sterne wird man aber höchstens $^1/_{10}$ dieser Geschwindigkeit erwarten dürfen.

Dass wirklich die Entfernung eines Sternes von der Erde um 43 Meilen in der Secunde zunehmen müsste, um eine Verschiebung der Spectrallinien um den Abstand der beiden D-Linien zu bewirken, geht aus folgender Betrachtung hervor. — Die Wellenlänge der brechbaren D-Linie ist nach Angström 5889, die der anderen ist 5895 Milliontel Millimeter. Die Geschwindigkeit des Lichtes, 42 000 Meilen in der Secunde, wie in einem der nächsten Paragraphen gezeigt werden soll, müsste nun durch die Geschwindigkeit x, mit welcher sich die Erde vom Sterne entfernt, im Verhältniss von 5889 zu 5895 vergrössert erscheinen, um eine Verschiebung der Spectrallinien um den Abstand der beiden D-Linien zu bewirken; wir haben also

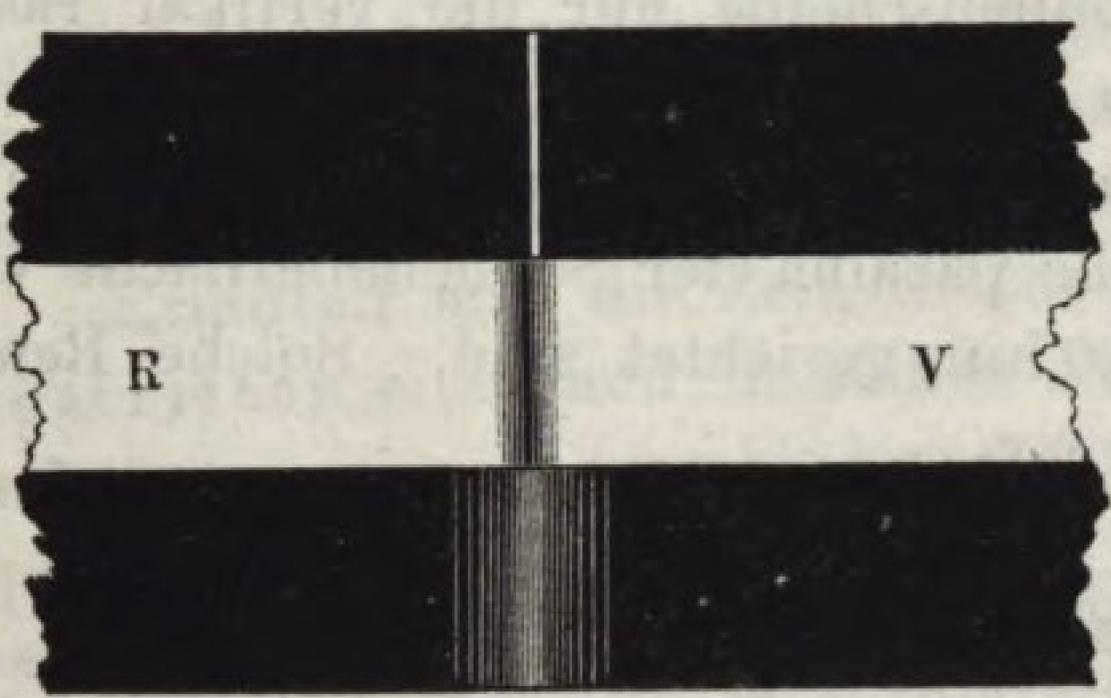
$$5889 : 5895 = 42\,000 : 42\,000 + x,$$

woraus sich $x = 43$ ergiebt.

Das von Huggins erhaltene Resultat besteht übrigens in Folgendem: Die F-Linie des Siriusspectrums erscheint gegen die entsprechende helle Linie des Wasserstoffspectrums einer Geissler'schen Röhre stark in die Breite gezogen. Eine solche Verbreiterung zeigt übrigens auch die fragliche helle Linie des Wasserstoffspectrums, wenn der elektrische Funken nicht durch verdünntes Wasserstoffgas, sondern durch solches hindurchschlägt, welches sich unter stärkerem Druck befindet; es fällt aber die scharfe helle Linie des verdünnten Wasserstoffgases mit der Mitte des hellen Streifens im Spectrum des dichteren Gases zusammen. Nicht so bei der breiteren F-Linie des Siriusspectrums, welche in der That etwas gegen das rothe Ende des Spectrums hin verschoben erscheint, wie man in Figur 203 sieht. Huggins schätzt diese Verschiebung höchstens auf $^1/_4$ bis $^1/_3$ des Abstandes der beiden D-Linien, woraus zu schliessen wäre, dass die Entfernung zwischen Erde und Sirius um ungefähr 10 geographische Meilen in der Secunde zunehme, was einer Verlängerung der Wellenlänge um 0,15 Milliontel

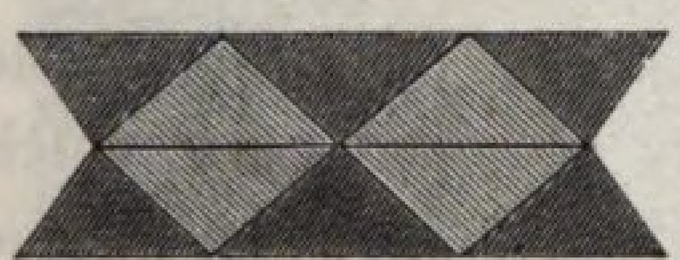
Millimeter entspricht. Da aber zur Zeit, in welcher **Huggins** seine Beobachtung machte, die Erde in ihrer Bahn sich um 3 Meilen in der Secunde vom Sirius weg bewegte, so bleibt noch eine Geschwindigkeit von ungefähr 7 Meilen in der Secunde übrig, mit welcher sich Sirius von unserem Sonnensystem entfernt.

Fig. 203.



Wenn überhaupt eine experimentelle Lösung dieser Frage möglich ist, so ist sie durch eine äusserst sinnreiche Vorrichtung zu erwarten, welche **Zöllner** zu diesem Zweck ausgedacht hat und welche er mit dem Namen eines **Reversionsspectroskops** bezeichnet. Bei diesem Instrumente sind zwei **Amici**'sche Prismensysteme so zusammengestellt, wie Fig. 204 andeutet, dass also die Farben im Spectrum des einen in entgegengesetzter Richtung auf einander folgen wie im Spectrum des anderen. Durch eine hier nicht näher zu beschreibende Vorrichtung kann nun bewirkt werden, dass das Spectrum, welches das eine Prismensystem von einer entfernten Lichtquelle entwirft, gerade über dem durch das andere System erzeugten Spectrum derselben Lichtquelle steht. Findet nun durch die oben besprochene kosmische Bewegung eine Verschiebung der Spectrallinien Statt, so müsste dieselbe in dem einen Spectrum die entgegengesetzte Richtung haben wie im anderen und deshalb leichter bemerkbar und messbar sein. Hätte man z. B. das Instrument so gestellt, dass die F-Linie des Sonnenspectrums im einen Spectrum genau in die Verlängerung des anderen fällt, so müssten bei Beobachtung eines Sternspectrums in Folge der kosmischen Bewegung die beiden F-Linien auseinander treten (Pogg. Ann. CXXXVIII).

Fig. 204.



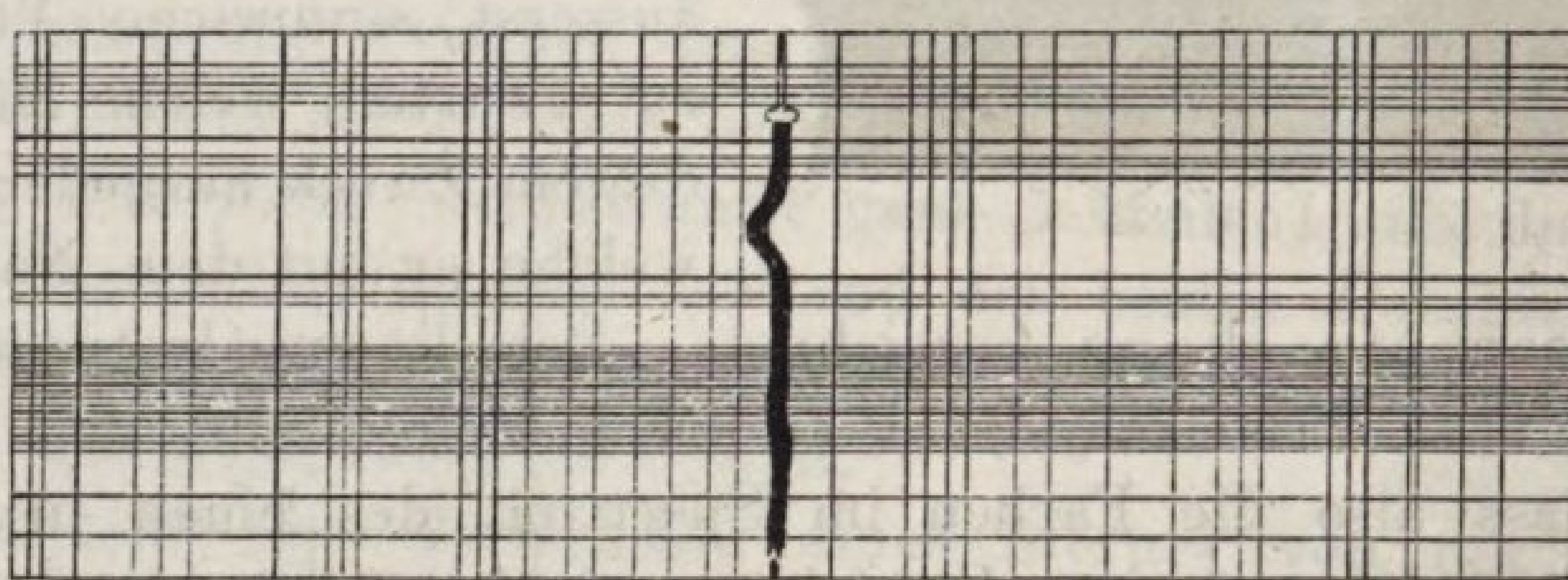
Durch die Verschiebung der **Fraunhofer**'schen Linien hat **Lockyer** nun auch die Bewegung von Gasmassen in der Sonnenatmosphäre constatirt. Das Telestereoskop auf Flecken in der Mitte der Sonnenscheibe richtend, zeigte nämlich die Wasserstofflinie F grosse Unregelmässigkeiten. An einigen Stellen erschien sie dunkel auf hellem, an anderen Stellen dagegen hell auf dunklem Grunde. In den hellen Parthieen sowohl, wie in den dunklen, zeigte sie sich theilweise nicht nur breiter, sondern auch entweder nach der rothen oder nach der violetten Seite des Spectrums hin gebogen, wie dies Fig. 205 (a. f. S.) anschaulich machen soll. — Aehnliche Biegungen zeigte auch die rothe Wasserstofflinie C, an welcher dagegen die Veränderungen in der Breite kaum wahrzunehmen sind.

Aus der Grösse der Ausbiegung, wie sie in verschiedenen Fällen

beobachtet wurde, ergab sich eine Geschwindigkeit von 8 bis 25 Meilen für den aufsteigenden oder niederstürzenden Gasstrom, ein Resultat, welches mit dem in §. 122 besprochenen Resultate der Zöllner'schen Rechnung sehr gut harmonirt.

Während in der Mitte der Sonnenscheibe nur die vertikal rasch aufsteigenden oder niederstürzenden Gasströme eine Verschiebung von Fraunhofer'schen Linien bewirken können, geschieht dies am Sonnenrande nur durch Strömungen, welche parallel der Sonnenoberfläche von der Erde weg oder gegen die Erde hin gerichtet sind. Solche Bewe-

Fig. 205.



gungen in der Sonnenatmosphäre werden durch das Spectroskop dadurch merklich gemacht, dass die hellen Linien der Chromosphäre nicht die geradlinigen Fortsetzungen der entsprechenden dunklen Fraunhofer'schen Linien des Sonnenrandes sind, sondern dass sie etwas nach der einen oder anderen Seite hin abgebogen erscheinen. Lockyer hat solche Verschiebungen beobachtet, welche einer Geschwindigkeit des Gasstromes von 8 bis 9 Meilen in der Secunde entspricht.

Während das Spectroskop für eine bestimmte Stelle des Sonnenrandes einen sich der Erde nähernden Gasstrom anzeigte, ergab sich, dass an einer 340 Meilen davon entfernten Stelle des Sonnenrandes ein sich mit gleicher Geschwindigkeit von der Erde entfernender Gasstrom herrschte, man hatte es also hier offenbar mit einem gewaltigen Wirbelsturm (Cyclone) von 340 Meilen Durchmesser zu thun.

136 **Geschwindigkeit des Lichtes.** Vergeblich hatten die Mitglieder der florentinischen Akademie durch Versuche auf der Erde die Geschwindigkeit des Lichtes zu ermitteln versucht. Erst dem dänischen Astronomen Römer gelang es durch seine fleissigen Beobachtungen der Jupiterstrabanten, die er in den Jahren 1675 und 1676 mit Cassini dem Aelteren auf der Sternwarte zu Paris anstellte, dieselbe zu bestimmen.

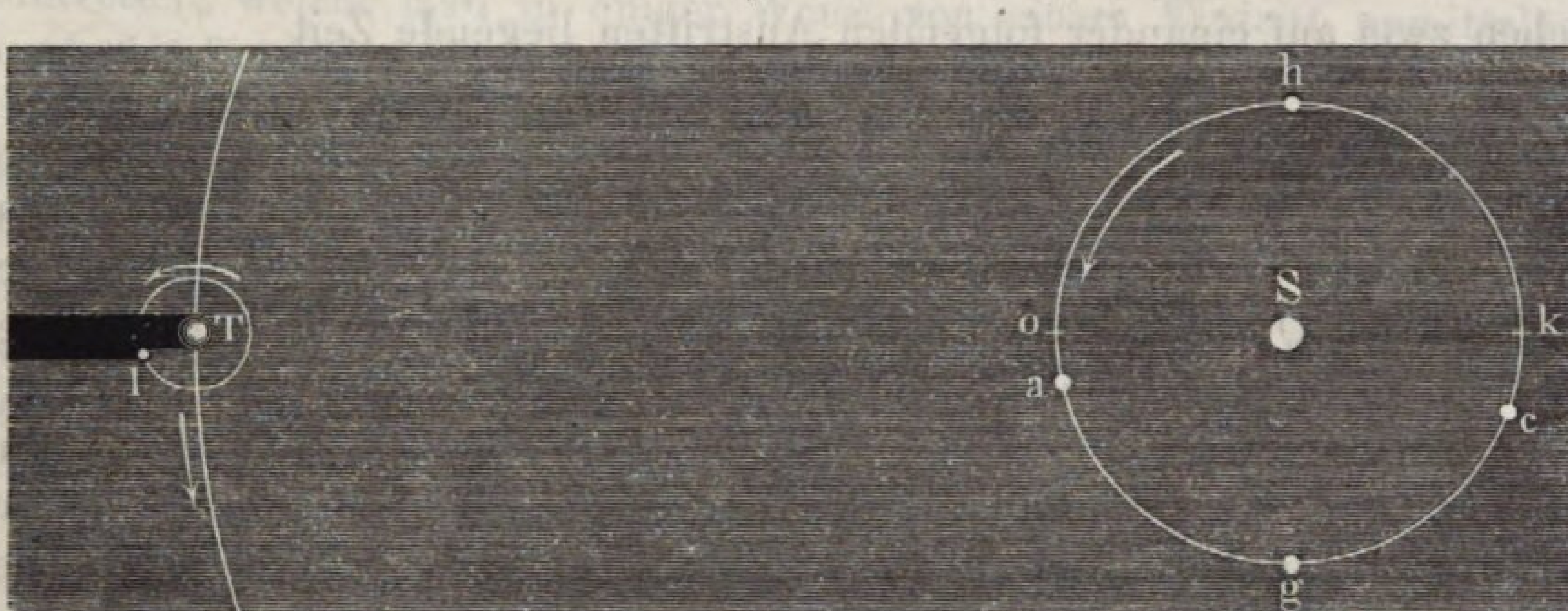
Auf Seite 199 sind bereits die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten besprochen worden. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, ergiebt sich in folgender Weise aus einer genauen Beobachtung der Momente des Eintritts oder des Austritts der Trabanten in oder aus dem Schatten des Jupiter.

In Fig. 206 stelle S die Sonne, der um S gezogene Kreis die Erdbahn und T den Jupiter mit der Bahn eines seiner Trabanten dar.

Während sich die Erde von *o* bis *k* bewegt, also während der Zeit zwischen der Opposition des Jupiter und der nächsten Conjunction können wir von der Erde aus sehen, wie die Trabanten auf der Ostseite des Schattens aus demselben austreten; während der Zeit zwischen der Conjunction aber bis zur nächsten Opposition können wir die Eintritte des Trabanten in den Jupitersschatten beobachten; während dieser Zeit sehen wir den Trabanten westlich vom Jupiter verschwinden.

Ermittelt man die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Austritten eines und desselben Trabanten, etwa des ersten, vergeht, so findet man sie in verschiedenen Perioden nicht gleich. Während der Oppositionsperiode, also wenn die Erde in der Nähe von *o* steht, oder während der Conjunctionsperiode, wenn also die Erde in der Nähe von *k* steht, ergiebt sich die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Austritten oder zwei auf einander folgenden Eintritten vergeht, kürzer,

Fig. 206.



als zur Zeit der ersten Quadratur, wenn die Erde bei *g*, und länger, als zur Zeit der zweiten Quadratur, wenn die Erde in der Nähe von *h* steht.

Dies ist nun eine Folge davon, dass sich das Licht nicht momentan fortpflanzt, sondern dass es zur Durchlaufung grösserer Räume eine messbare Zeit gebraucht.

Zur Zeit der Opposition oder Conjunction bewegt sich die Erde in Beziehung auf den Jupiter in einer Weise, dass sie sich demselben weder merklich nähert noch sich von demselben entfernt; in diesen Perioden ist also die zwischen zwei auf einander folgenden Ein- oder Austritten vergehende Zeit nahezu die Umlaufszeit des Trabanten um den Jupiter.

In der Nähe der Quadratur *g* entfernt sich die Erde in gerader Linie von dem Jupiter und die zwischen zwei auf einander folgenden beobachteten Austritten vergehende Zeit ist also gleich der Umlaufszeit des Trabanten + der Zeit, welche das Licht zur Durchlaufung des Weges gebraucht, um welchen sich unterdessen die Erde vom Jupiter entfernt hat.

Zur Zeit derjenigen Quadratur, in welcher man die Eintritte der Trabanten in den Jupitersschatten sehen kann, also wenn sich die Erde ungefähr in *h* befindet, nähert sie sich fast in gerader Linie dem Jupiter,

und demnach ist die Zeit, welche zwischen den beiden Momenten vergeht, in welchen man während dieser Periode zwei aufeinander folgende Eintritte beobachtet, gleich der Umlaufszeit des Trabanten — der Zeit, welche das Licht zum Durchlaufen des Weges gebraucht, um welchen sich während dieses Umlaufs die Erde dem Jupiter genähert hat.

Ein Beispiel mag dies erläutern.

Im Jahre 1851 wurde alsbald nach der Opposition ein Austritt des ersten Trabanten beobachtet am 11. April $15^h\ 6'\ 36{,}3''$; der nächste am 13. April $9^h\ 35'\ 3{,}0''$. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren ab, so ergiebt sich für die Umlaufszeit des ersten Trabanten

42 Stunden $28'\ 26{,}7''$.

Zur Zeit der nächsten Quadratur wurde ein Austritt beobachtet am 14. Juli $10^h\ 21'\ 50{,}3''$ und ein anderer, und zwar von diesem an gerechnet der neunte, am 30. Juli $8^h\ 39'\ 42''$. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren ab und dividirt man durch 9, so ergiebt sich für die zwischen zwei auf einander folgenden Austritten liegende Zeit

42 Stunden $28'\ 39''$.

Zieht man davon die Umlaufszeit ab, wie sie aus den Aprilbeobachtungen abgeleitet wurde, so ergiebt sich 12,3 Secunden als die Zeit, welche das Licht gebraucht, um den Raum zu durchlaufen, um welchen sich in der Periode der Quadratur die Erde von dem Jupiter entfernt, während der erste Trabant einen Umlauf vollendet.

In einer Secunde geht die Erde in ihrer Bahn um 4 geographische Meilen vorwärts; während $42^1/_2$ Stunden, der Umlaufszeit des ersten Trabanten, durchläuft sie also einen Raum von 612 000 Meilen, und diesen Raum durchläuft das Licht in 12,3 Secunden, in 1 Secunde also einen Weg von 49 700 Meilen.

Dies Resultat ist jedoch nicht genau, wie sich denn überhaupt in der angegebenen Weise aus einzelnen Beobachtungen deshalb keine genaueren Resultate ziehen lassen, weil die Trabanten nicht immer genau durch die Mitte des Jupitersschatten gehen und deshalb die Aus- und Eintritte bald etwas früher, bald etwas später erfolgen, als wenn die Trabanten stets an derselben Stelle den Jupitersschatten passirten.

Die genaue Umlaufszeit der Trabanten kann nur aus einer grösseren Reihe von Beobachtungen mit Genauigkeit ermittelt werden. Sie ist für den ersten Trabanten 42 Stunden $28'\ 35''$.

Kennt man einmal die Umlaufszeit des Trabanten, kennt man ferner den Moment, in welchem kurz nach der Opposition, als sich etwa die Erde in a befand, ein Austritt desselben beobachtet wurde, so kann man berechnen, in welchem Momente, von dem erwähnten an gerechnet, der 100ste Austritt desselben Trabanten beobachtet werden müsste, vorausgesetzt, dass sich das Licht momentan fortpflanzte. (Bei dieser Berechnung darf aber natürlich die Fortbewegung des Jupiter und also auch die Veränderung in der Lage seines Schattens nicht unberücksichtigt bleiben.) Während dieser 100 Umläufe hat sich aber die Erde ungefähr

bis c fortbewegt, und wenn man nun den Austritt beobachten will, so findet man, dass derselbe später, und zwar ungefähr um 15 Minuten nach dem berechneten Moment stattfindet. Die Zeit nun, welche zwischen dem berechneten Moment und dem Zeitpunkte vergeht, in welchem der Austritt wirklich beobachtet wird, ist die Zeit, welche das Licht nöthig hat, um die Entfernung zu durchlaufen, um welche die Erde jetzt, da sie sich in c befindet, weiter von dem Jupiter absteht, als da sie noch in a war.

Man findet nun die Geschwindigkeit des Lichtes, wenn man die Differenz der Entfernungen durch beobachtete Verspätung dividirt. Es ergiebt sich auf diese Weise, dass das Licht in einer Secunde ungefähr einen Weg von 42 000 Meilen zurücklegt, und dass es, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, 8′ 13″ bedarf.

Auf der anderen Hälfte der Erdbahn, zwischen einer Conjunction und der nächsten Opposition werden die Eintritte vor den Momenten eintreten, welche man in obiger Weise von einem Eintritt unmittelbar nach der Conjunction ausgehend berechnet hat.

Bereits auf Seite 288 haben wir die Entfernung derjenigen Sterne kennen gelernt, welche uns am nächsten sind; da wir nun auch die Geschwindigkeit kennen, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, so lässt sich leicht berechnen, welche Zeit das Licht gebraucht, um von einem dieser uns zunächst gelegenen Fixsterne auf die Erde zu gelangen. Es ergiebt sich für

α Centauri . . .	3,5 Jahre	Wega	15,3 Jahre
61 cygni	8,7 „	Arcturus	24,3 „
Sirius	14,1 „		

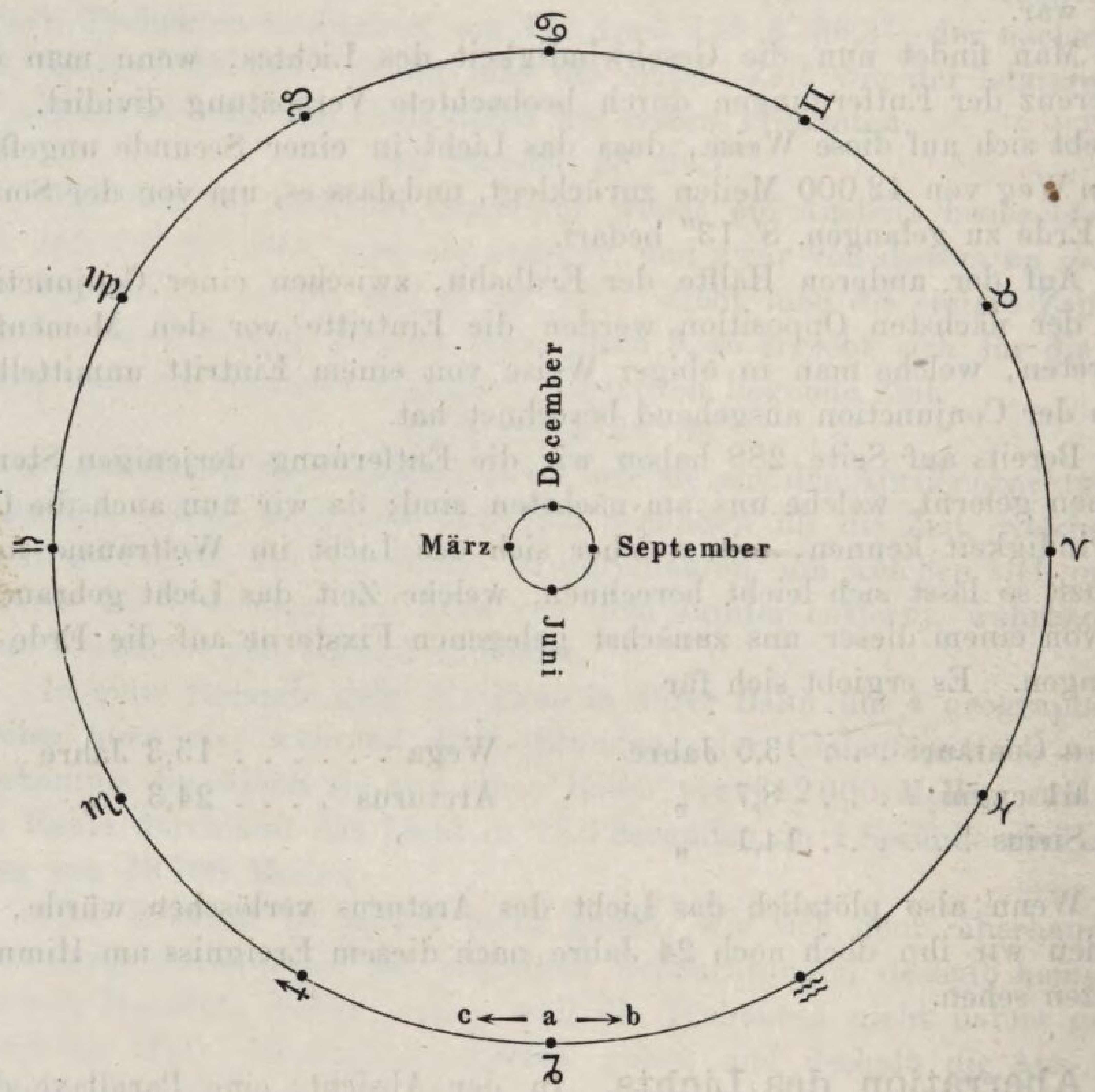
Wenn also plötzlich das Licht des Arcturus verlöschen würde, so würden wir ihn doch noch 24 Jahre nach diesem Ereigniss am Himmel glänzen sehen.

Aberration des Lichts. In der Absicht, eine Parallaxe der 137
Fixsterne aufzufinden, hatte Bradley im Jahre 1725 eine Reihe genauer Fixsternbeobachtungen begonnen. Vorzüglich war es der Stern γ im Kopfe des Drachen, den er mehrere Jahre hindurch mit grosser Aufmerksamkeit verfolgte. Er fand bald, dass weder die Länge noch die Breite dieses Sternes unverändert blieb. Im Juni, zur Zeit der Opposition mit der Sonne, war seine Länge stets am grössten, im December dagegen, also zur Zeit der Conjunction, war sie am kleinsten; die Differenz der grössten und kleinsten Länge betrug 40,5 Secunden; kurz, der Stern beschrieb während eines Jahres am Himmel eine kleine Ellipse, deren grosse Axe, mit der Ekliptik parallel, 40,5 Secunden betrug.

Eine ganz ähnliche, scheinbare Bewegung fand sich nun bei allen anderen Fixsternen. Für alle war die grosse Axe der Ellipse mit der Ekliptik parallel, und hatte stets die gleiche Grösse von 40,5 Secunden;

für die Sterne, die in der Nähe des Pols der Ekliptik liegen, ist die fragliche Bewegung fast kreisförmig, während dagegen die kleine Axe der Ellipse um so kleiner wird, je näher die Sterne der Ekliptik stehen; sie wird endlich Null für die Sterne, die auf der Ekliptik selbst liegen, diese haben also bloss eine in der Ebene der Ekliptik hin- und hergehende Bewegung von 40,5″.

Fig. 207.



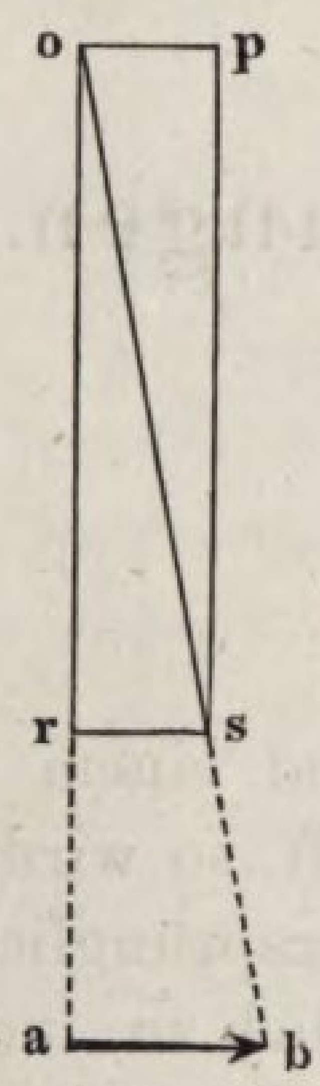
Bradley erkannte richtig als Ursache dieser Erscheinung, die er mit dem Namen der **Aberration** bezeichnete, das Zusammenwirken der Geschwindigkeiten des Lichts und der Erde. Um die Sache anschaulich zu machen, wollen wir einen Stern betrachten, der ungefähr gleiche Länge mit γ draconis hat, aber auf der Ekliptik selbst liegt, also den Punkt a, Fig. 207.

In dieser Figur bezeichnet nämlich der kleine Kreis die Erdbahn, der grössere concentrische den Thierkreis, gegen dessen Durchmesser der Durchmesser der Erdbahn freilich verschwindend klein sein sollte. Im Juni wird nun der in a befindliche Stern durch die Aberration um 20″ in der Richtung nach b hin, im December wird er eben so weit in der Richtung nach c hin verrückt erscheinen.

Daraus geht nun zunächst hervor, dass man es hier nicht mit einer Wirkung der Parallaxe zu thun hat. In Folge der Parallaxe nämlich, wenn eine solche merklich wäre, müsste unser Stern im März seine grösste, im September seine kleinste, im Juni und December dagegen seine mittlere Länge haben.

Gehen wir nun zur Erklärung der Erscheinung über. Im März bewegt sich die Erde gerade gegen den Punkt a hin, im September entfernt sie sich in gerader Linie von demselben, in dieser Zeit wird man also den Stern an seinem wahren Orte erblicken; im Juni und December dagegen macht die Erdbahn gerade einen rechten Winkel mit den von a zu ihr kommenden Lichtstrahlen. Stellt nun op, Fig. 208, die Geschwindigkeit der Erde, ro die Geschwindigkeit der eben rechtwinklig auf ihre Bahn treffenden Lichtstrahlen dar, so combiniren sich die beiden Geschwindigkeiten offenbar in der Weise, dass der Eindruck auf das Auge in o derselbe ist, als ob bei ruhender Erde die Lichtstrahlen in der Richtung os gekommen wären, kurz das Auge sieht den Stern a in b.

Fig. 208.



Nun ist der Winkel $ros = 20{,}25''$, op die Geschwindigkeit der Erde gleich 4,14 Meilen, es ist also

$$ro = \frac{rs}{tang.\ 20{,}25''} = \frac{op}{0{,}0001} = \frac{4{,}14}{0{,}0001},$$

also die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes 41 400 Meilen in der Secunde. Die nahe Uebereinstimmung dieses Resultates mit den Werthen, die wir im vorigen Paragraphen für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes kennen lernten, liefert uns einen Beweis für die Richtigkeit des Princips, aus welchem die Aberrationserscheinung erklärt worden ist.

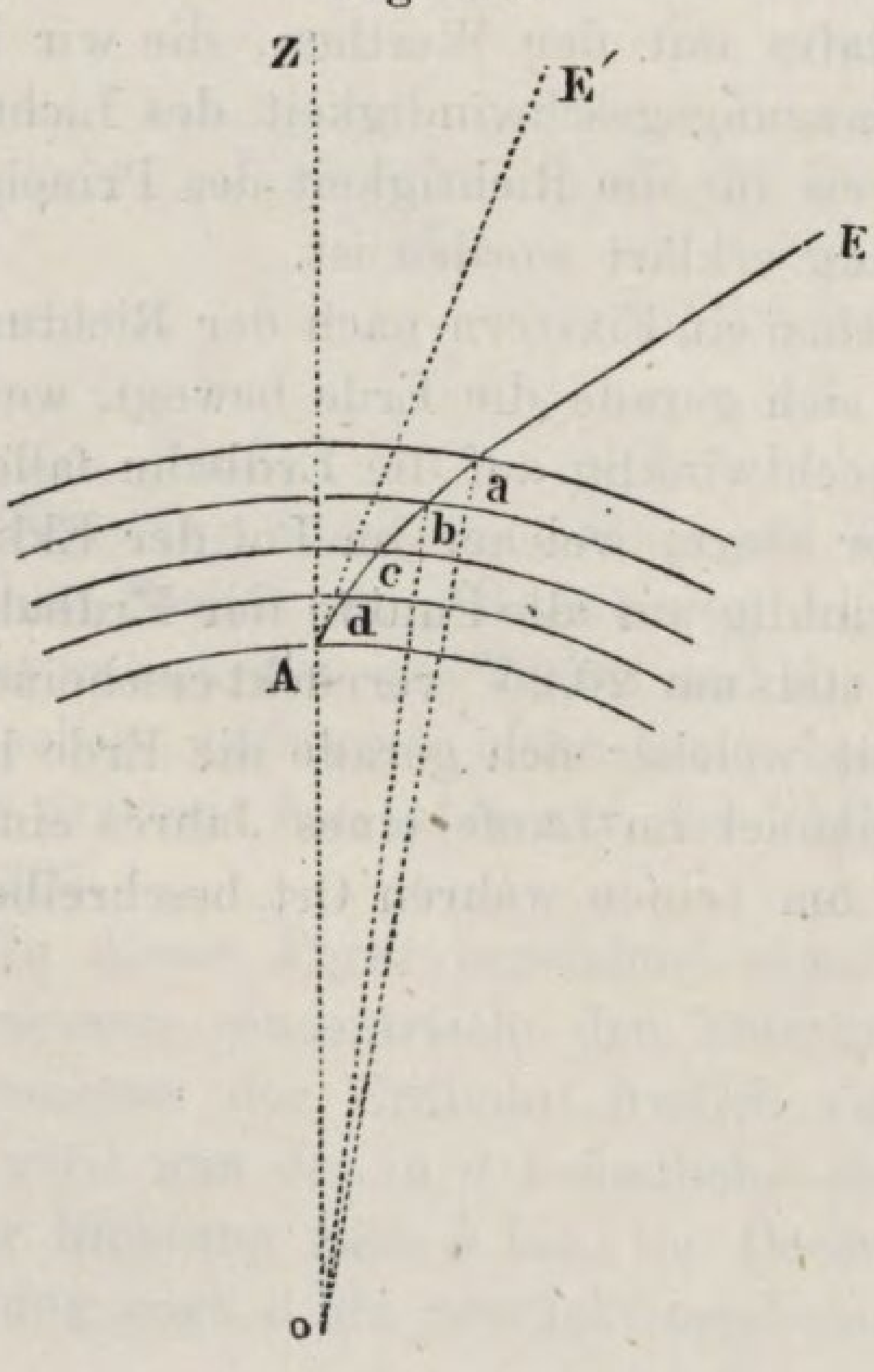
Der Winkel von 20,25″, um welchen ein Fixstern nach der Richtung hin verschoben erscheint, in welcher sich gerade die Erde bewegt, wenn die vom Sterne kommenden Strahlen rechtwinklig auf die Erdbahn fallen, heisst der Aberrationswinkel. Der Stern, welcher im Pol der Ekliptik steht, sendet seine Strahlen rechtwinklig auf alle Punkte der Erdbahn, er wird also von seinem wahren Orte stets um 20,25″ verrückt erscheinen, und zwar immer in der Richtung, mit welcher sich gerade die Erde bewegt; dieser Stern muss also am Himmel im Laufe eines Jahres einen kleinen Kreis von 20,25″ Halbmesser um seinen wahren Ort beschreiben.

Zweites Capitel.

Atmosphärische Lichterscheinungen.

136 **Atmosphärische Refraction.** Wenn von irgend einem Gestirne ein Lichtstrahl auf die Atmosphäre unserer Erde trifft, so wird er, den bekannten Brechungsgesetzen zufolge, von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt; diese Ablenkung nimmt aber continuirlich zu, indem der Lichtstrahl allmälig in immer dichtere Luftschichten eindringt, und so kommt es, dass derselbe auf dem Wege durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche eine krumme Linie beschreibt.

Fig. 209.



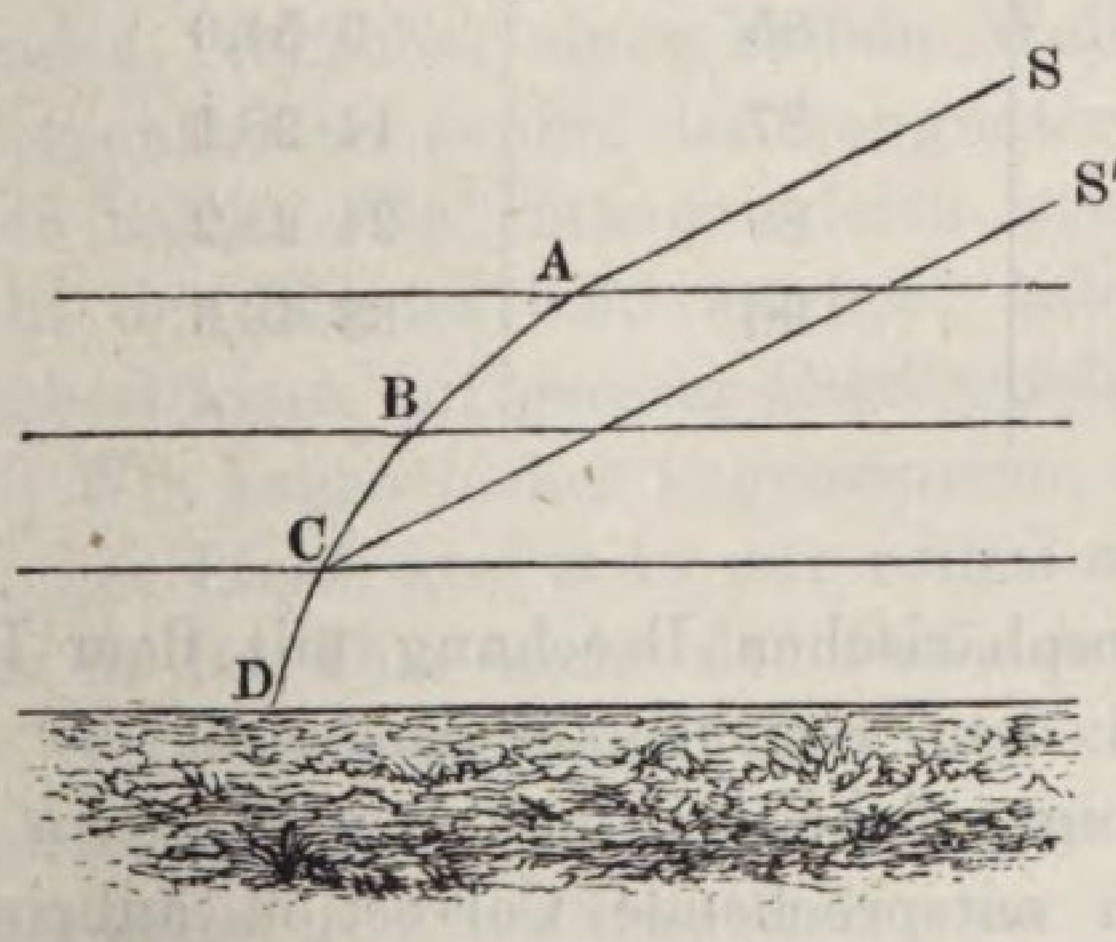
Um den ganzen Vorgang der atmosphärischen Refraction besser übersehen zu können, wollen wir annehmen, die ganze Atmosphäre sei in eine Reihe concentrischer Schichten getheilt, von denen jede ihrer ganzen Ausdehnung nach eine gleichförmige Dichtigkeit besitzt, aber dichter ist als die nächst höhere und weniger dicht als die nächst tiefere. Trifft nun ein Lichtstrahl *Ea*, Fig. 209, auf die oberste Schicht der Atmosphäre, so wird er in der Weise abgelenkt, dass er dem Einfallsloth *ao* genähert wird, er wird

die oberste Schicht in der Richtung ab durchlaufen; in b auf eine dichtere Luftschicht treffend, erleidet der Strahl eine zweite Ablenkung in demselben Sinne u. s. w. und kommt endlich auf der Oberfläche der Erde bei A an, nachdem er die unterste Schicht der Atmosphäre in der Richtung dA durchlaufen hat. In der Wirklichkeit ist aber nun $abcdA$ keine gebrochene Linie, sondern eine continuirliche Curve. Ein Beobachter, welcher sich in A befindet, wird offenbar denselben Eindruck haben, als ob das Gestirn, von welchem der Lichtstrahl ausgeht, sich in der Richtung der in A an die Curve gelegten Tangente AE' befände. Durch den Einfluss der atmosphärischen Refraction erscheinen also alle Gestirne dem Zenith näher gerückt, sie scheinen höher über dem Horizonte zu stehen, als es wirklich der Fall ist.

Die mit einem Höhenkreise gemachten Messungen geben uns also keineswegs die wahren Werthe der Zenithdistanz der Gestirne, sondern die durch die atmosphärische Refraction verminderte Zenithdistanz; um also den wahren Ort eines Gestirnes am Himmelsgewölbe zu bestimmen, muss man die Grösse der atmosphärischen Refraction kennen und dieselbe in Rechnung bringen.

Bei der verhältnissmässig geringen Höhe der Atmosphäre kann man ohne merklichen Fehler für alle Gestirne, welche mehr als 15° über dem Horizonte stehen, von der Krümmung der Atmosphäre abstrahiren und sie als aus lauter horizontalen Schichten bestehend betrachten. Mit Hülfe dieser Annahme lässt sich nun leicht die Grösse der atmosphärischen Refraction berechnen.

Fig. 210.



Die Physik lehrt uns, dass, wenn ein Lichtstrahl der Reihe nach verschiedene Schichten durchläuft, deren Gränzflächen sämmtlich einander parallel sind, er in der letzten Schicht genau denselben Weg durchläuft, als ob alle Zwischenschichten fehlten und der Lichtstrahl in seiner ursprünglichen Richtung gleich auf diese letzte Schicht gefallen wäre, wie dies Fig. 210 erläutert. Die Richtung, in welcher das Licht eines Sternes unser Auge trifft, wird also dieselbe sein, als ob seine Strahlen unmittelbar aus dem luftleeren Himmelsraume auf eine Atmosphäre getroffen wären, deren Dichtigkeit so gross ist wie die Dichtigkeit der Luft, in der wir uns gerade befinden.

Beim Uebergang eines Lichtstrahles aus dem leeren Raume in Luft von 0° und einem Barometerstand von 760 Millim. ist der Brechungsexponent 1 000 294 (Lehrbuch der Physik, 7. Aufl., 1. Band, Seite 556); bezeichnen wir also die wahre Zenithdistanz mit z, die durch die atmo-

sphärische Refraction verkleinerte oder die scheinbare Zenithdistanz mit z', so ist:

$$sin. z = 1{,}000294\ sin. z'.$$

Der Brechungsexponent der Luft ändert sich aber mit dem Barometerstande, der Temperatur u. s. w. Für einen Barometerstand von 760 Millim. und eine Temperatur von 10° C. ist er 1,00028; für diesen Werth des Brechungsexponenten der Luft enthält die folgende Tabelle für die scheinbaren Zenithdistanzen von 5 zu 5 Grad die entsprechenden Werthe der atmosphärischen Refraction, d. h. den Winkel, um welchen die wahre Zenithdistanz grösser ist als die scheinbare. Ausserdem ist noch die Refraction für 87° und 89° beigefügt worden, um zu zeigen, wie rasch dieselbe gegen den Horizont hin zunimmt.

Scheinbare Zenithdistanz.	Atmosphärische Refraction.	Scheinbare Zenithdistanz.	Atmosphärische Refraction.
5°	5,1″	55°	1′ 23,1″
10	10,3	60	1 40,6
15	15,6	65	2 4,3
20	21,2	70	2 38,8
25	27,2	75	3 34,3
30	33,6	80	5 19,8
35	40,8	85	9 54,3
40	48,9	87	14 28,1
45	58,2	89	24 21,2
50	1′ 9,3	90	33 46,3

Da sich die Grösse der atmosphärischen Brechung mit dem Barometerstande der Temperatur und dem Feuchtigkeitszustande der Luft ändert, so muss man an den in obiger Tabelle enthaltenen Werthen noch eine den veränderten Umständen entsprechende Correction anbringen, auf deren nähere Besprechung wir aber hier nicht eingehen können.

In Folge der atmosphärischen Refraction sehen wir auch die Sonne noch vollständig über dem Horizonte, wenn der untere Rand derselben in der That schon 33′ unter denselben hinabgesunken ist; durch die Atmosphäre bleibt uns also des Abends die Sonne über zwei Zeitminuten länger sichtbar, als es ohne die Atmosphäre der Fall sein würde, und ebenso findet der scheinbare Sonnenaufgang um mehr als 2 Minuten früher Statt als der wahre. Dies erklärt nun auch, dass man bei einer Mondfinsterniss Sonne und Mond zugleich über dem Horizonte sehen

kann, wie es in der That der Fall ist, wenn die Mondfinsterniss zur Zeit des Sonnenaufganges oder des Sonnenunterganges stattfindet.

Das Funkeln der Sterne. Gewöhnlich erscheint uns das Licht der Fixsterne nicht ruhig, sondern es scheint von Zeit zu Zeit, und zwar abwechselnd mit grüner, blauer oder rother Farbe aufzublitzen. Diese beständige Veränderung im Lichte der Fixsterne ist es, welche man Funkeln oder auch Scintillation nennt. 137

Die mit blossem Auge sichtbaren Planeten zeichnen sich vor den Fixsternen durch ein sehr ruhiges Licht aus; sie zeigen das Phänomen des Funkelns entweder gar nicht oder doch weit schwächer.

Eine Erklärung dieses eigenthümlichen Phänomens, welches wesentlich dazu beiträgt, die Schönheit des gestirnten Himmels zu erhöhen, hat uns Arago gegeben. Für die Bewohner der Erde sind die Fixsterne nur als leuchtende Punkte zu betrachten. Zwei homogene Lichtstrahlen, welche gleichzeitig von dem Sterne ausgehend in das Auge des Beobachters gelangen, werden aber, so nahe sie auch einander sein mögen, bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre nicht immer gleiche Verzögerungen erleiden, indem die geringsten Differenzen in der Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschichten schon einen namhaften Gangunterschied der beiden Strahlen bewirken können. Weil aber ein beständiger Wechsel der Temperatur, des Druckes und der Feuchtigkeit in der Luft stattfindet, so wird auch die Grösse dieses Gangunterschiedes fortwährenden Schwankungen unterworfen sein, und so kommt es denn, dass zwei solche Strahlen, auf der Netzhaut des Auges vereinigt, sich entweder gegenseitig in ihrer Wirkung unterstützen (wenn der Gangunterschied Null ist oder ein gerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt) oder sich gegenseitig aufheben (wenn der Gangunterschied einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge gleich ist). Auf diese Weise wird also das Licht des Sternes bald stärker, bald schwächer erscheinen und dieser Wechsel kann mit grosser Geschwindigkeit vor sich gehen.

Wir haben bisher angenommen, dass der Stern nur homogenes, einfarbiges Licht, also etwa nur rothes oder nur blaues aussende. Dies ist aber in der That nicht der Fall, da das Licht der Fixsterne weiss, also aus verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetzt ist. Da nun die Wellenlänge der verschiedenfarbigen Strahlen nicht gleich ist, so wird unter sonst gleichen Umständen der Gangunterschied der rothen Strahlen ein anderer sein müssen, als der der grünen, blauen u. s. w. In demselben Augenblicke, wo die rothen Strahlen sich fast aufheben, können also die grünen gerade so interferiren, dass sie sich gegenseitig verstärken, und im nächsten Moment wird dann wieder ein Aufblitzen des rothen Lichtes stattfinden, während die blauen und grünen Strahlen fast erloschen erscheinen.

Während die Fixsterne, selbst durch die stärksten Fernrohre betrachtet, noch keine merklichen Dimensionen zeigen, haben die Planeten,

durch Fernrohre betrachtet, einen namhaften Durchmesser; ein Planet kann demnach als ein Aggregat einfacher leuchtender Punkte betrachtet werden. Jeder dieser Punkte für sich allein wird sich nun wie ein Fixstern verhalten, und er würde funkeln wie ein Fixstern, wenn er isolirt wäre. Da aber nicht alle leuchtenden Punkte, welche die Scheibe des Planeten bilden, gleichzeitig auf gleiche Weise funkeln, so wird das Funkeln des einen Punktes im Allgemeinen das des anderen neutralisiren, und so kommt es denn, dass die Planeten sich durch ein ruhiges Licht auszeichnen.

Man hat bemerkt, dass sich das Funkeln der Sterne dann besonders stark zeigt, wenn die Luft längere Zeit hindurch trocken war und sich nun mehr Wasserdampf in derselben zu verbreiten beginnt, so dass ein auffallend lebhaftes Funkeln der Sterne den Seeleuten als ein Zeichen bald eintretenden Regens gilt.

Zwischen den Wendekreisen, wo die Luft oft eine bewundernswerthe Ruhe und Klarheit zeigt, ist das Funkeln der Sterne bei Weitem nicht so auffallend und lebhaft als in höheren Breiten.

138 **Unvollkommene Durchsichtigkeit der Luft.** Gewiss ist die atmosphärische Luft ungemein durchsichtig im Vergleich gegen alle uns bekannten festen und flüssigen Körper und dennoch ist sie, wie uns die alltäglichsten Erscheinungen lehren, keineswegs vollkommen durchsichtig. Entfernte Gegenstände erscheinen uns nicht nur unter kleinerem Gesichtswinkel, ihre Färbung erscheint matter, die Contraste zwischen Schatten und Licht sind schwächer; kurz, je entfernter ein Gegenstand ist, desto mehr scheint er uns mit einem milchigen, blassblauen Schleier überzogen, wie man namentlich an entfernten Bergen es deutlich sieht. Man bezeichnet diese Wirkung der unvollständigen Durchsichtigkeit der Luft mit dem Namen der Luftperspective.

Um ein Maass für die Schwächung des Lichtes durch die Atmosphäre zu erhalten, construirte Saussure eine Vorrichtung, welche er Diaphanometer nannte. Diese Vorrichtung besteht aus zwei weissen Scheiben, von denen die eine ungefähr 6 Fuss, die andere 6 Zoll im Durchmesser hat; in der Mitte der grösseren Scheibe ist ein schwarzer Kreis von 24 Zoll, auf der anderen ein solcher von 2 Zoll gemalt. Beide Scheiben werden neben einander aufgestellt, und zwar so, dass sie nach einer und derselben Seite gekehrt und vollkommen gleich beleuchtet sind. Entfernt man sich nun allmälig, so kommt man bald zu einem Punkte, in welchem der kleine schwarze Kreis dem Auge verschwindet, und wenn man sich dann noch weiter von den Scheiben entfernt, so gelangt man endlich auch dahin, dass der grössere schwarze Kreis auch nicht mehr sichtbar ist.

Misst man nun die Entfernungen der Scheibe von den Punkten, in welchen der kleine und der grosse Kreis verschwindet, so findet man, dass sie keineswegs den Durchmessern der Kreise proportional sind, wie

es sein müsste, wenn die Luft vollkommen durchsichtig und das Verschwinden der schwarzen Kreise nur durch die Kleinheit des Gesichtswinkels bedingt wäre.

Bei einem derartigen Versuche verschwand z. B. der kleine Kreis in einer Entfernung von 314 Fuss, der grosse aber nicht in zwölffacher Entfernung, sondern schon bei einem Abstande von 3588 Fuss. Die beiden Abstände verhalten sich wie 1 zu 11,427; die kleine schwarze Scheibe verschwand unter einem Gesichtswinkel von 1′ 49″, die grosse schon unter einem Gesichtswinkel von 1′ 55″.

Dass der grössere schwarze Kreis schon verschwindet, bevor der Sehwinkel auf die Grösse herabgesunken ist, bei welcher der kleine Kreis aufhört, dem blossen Auge sichtbar zu sein, rührt nur daher, dass bei grösserer Entfernung in Folge der durch die Atmosphäre bewirkten Lichtabsorption der Contrast der schwarzen Scheibe und des weissen Grundes geringer wird.

In grösseren Höhen über dem Meeresspiegel ist begreiflicher Weise die Luft durchsichtiger als in der Tiefe, wie dies auch vergleichende Versuche darthun, welche H. Schlagintweit in den Alpen anstellte (Pogg. Ann. LXXXIV, 1851). Der kleine schwarze Kreis des Schlagintweit'schen Diaphanometers hatte 1 Zoll, der grössere hatte 12 Zoll im Durchmesser. An sehr günstigen reinen Tagen fand er für den Quotienten der beiden Entfernungen, in welchen die kleine und grosse Scheibe verschwinden, den Werth

10,279 in einer Höhe von 2300′ über dem Meere, und
11,957 „ „ „ „ 12000′ „ „ „

Man sieht, wie sich dieser Quotient für grössere Höhen seinem Gränzwerthe weit mehr nähert, als es für tiefer liegende Orte der Fall ist.

Die Durchsichtigkeit der Luft ist aber selbst für einen und denselben Ort von sehr veränderlicher Grösse. Während man z. B. bei durchsichtiger Luft von den Höhen des Schwarzwaldes aus die schneebedeckte Alpenkette in grosser Klarheit und mit scharfen Umrissen erblickt, ist dieselbe an anderen Tagen oft bei ganz wolkenfreiem Himmel vollkommen unsichtbar.

Im Allgemeinen sind die sonnigsten, wolkenfreiesten Tage keineswegs diejenigen, an welchen die Luft besonders durchsichtig ist; im Gegentheil hat man bei anhaltend guter Witterung selten eine klare Fernsicht; und man kann es fast stets als ein Zeichen bald eintretenden Regens betrachten, wenn ferne Berge sehr klar erscheinen. Die Luft erreicht, wenigstens in unseren Klimaten, ihre grösste Durchsichtigkeit, wenn nach lang anhaltendem Regen oder auch nach einem Gewitter eine rasche Aufheiterung des Himmels erfolgt, die aber dann selten von Dauer ist.

In den Aequatorialgegenden ist die Luft bei weitem durchsichtiger als in unseren Gegenden, so dass man dort kleinere Sterne deutlich

mit blossem Auge unterscheiden kann, die bei uns stets unsichtbar bleiben. So unterschied Humboldt an der Küste von Cumana und auf den 12000 Fuss hohen Ebenen der Cordilleren mit unbewaffnetem Auge vollkommen deutlich das Sternchen Alcor (auch das Reiterchen genannt), welches ganz in der Nähe des Sternes Mizar im Schwanze des Grossen Bären steht, obgleich dieses Sternbild in Südamerika nicht so hoch über dem Horizonte steht, wie bei uns, wo man es nur selten und dann nicht mit grosser Bestimmtheit von dem benachbarten Mizar getrennt zu erkennen im Stande ist.

In der Nähe von Quito sah Humboldt mit unbewaffnetem Auge auf eine Entfernung von vier deutschen Meilen einen weissen, sich vor den schwarzen basaltischen Wänden hinbewegenden Punkt, den er durch das Fernrohr als seinen in einen weissen Mantel gehüllten Reisegefährten Bonpland erkannte.

Sehr durchsichtig ist auch die trockene Luft der Binnenländer, selbst in höheren Breiten, so namentlich in Persien, dem Himalaya und in Sibirien.

Als Ursache der geringeren Durchsichtigkeit der Luft bei trockener Witterung betrachtet A. de la Rive das Vorhandensein von undurchsichtigem Staub und Pflanzenkeimen in derselben. Wird dann die Luft beim Einfallen südwestlicher Winde feuchter, so werden diese Körperchen durch Absorption des Wasserdampfes durchsichtiger und zugleich schwerer, so dass sie schneller zu Boden fallen, was bei beginnendem Regen noch vollständiger erfolgt. Maréchal Vaillant dagegen sucht den hauptsächlichsten Grund der verschiedenen Durchsichtigkeitsgrade der Luft darin, dass beim Wehen der südwestlichen Winde die Temperatur von Boden und Luft viel gleichartiger und deshalb die Unruhe der Luft durch aufsteigende und niedersinkende Luftströmungen weit geringer sei als bei Nordostwinden. Unruhige Luft ist aber undurchsichtiger, weil an den Gränzen wärmerer und kälterer Luftschichten vielfache Reflexionen und unregelmässige Brechungen stattfinden.

139 **Der Durchsichtigkeits-Coëfficient.** Ein richtiges Urtheil über die Grösse der Lichtabsorption in der Luft erhält man aber erst durch die Bestimmung des Durchsichtigkeits-Coëfficienten, d. h. durch Bestimmung des Bruchtheils des einfallenden Lichtes, welcher durch eine Luftschicht von der Länge 1 hindurchgeht. Die Berechnung dieses Coëfficienten aus den mit dem Diaphanometer gemachten Messungen stützt sich auf die Voraussetzung, dass die Erscheinung nicht wesentlich geändert würde, wenn die Scheiben aus weissen Kreisen auf schwarzem Grunde beständen und dass in diesem Falle die beiden verschieden grossen weissen Flecke im Momente, wo sie verschwinden, gleich viel Licht ins Auge senden.

Es sei nun i die Lichtmenge, welche die kleine Scheibe ins Auge

senden würde, wenn sie in der Entfernung 1 aufgestellt wäre und wenn keine Lichtabsorption in der Luft stattfände, so ist

$$l = \frac{i}{e^2} a^e \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

die Lichtmenge, welche von derselben Scheibe ins Auge gelangt, wenn sie in der Entfernung e aufgestellt ist, und wenn a den Durchsichtigkeits-Coëfficienten bezeichnet. Ist d der Durchmesser der kleinen, D aber der der grossen Scheibe, so ist die Lichtmenge L, welche die grosse Scheibe (bei gleicher Beleuchtung) aus der Entfernung E ins Auge sendet:

$$L = \frac{D^2 i}{d^2 E^2} a^E \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Sind nun e und E die Entfernungen, für welche der kleine und der grosse Fleck eben verschwinden, so sendet die grosse Scheibe aus der Entfernung E eben so viel Licht ins Auge, wie die kleine aus der Entfernung e, es ist also für diesen Fall $l = L$ oder

$$\frac{i}{e^2} a^e = \frac{D^2 i}{d^2 E^2} a^E$$

oder

$$\frac{a^E}{a^e} = \frac{d^2 E^2}{D^2 e^2}$$

und daraus

$$a = \left(\frac{d \, . \, E}{D \, . \, e}\right)^{\frac{2}{E-e}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Bei den oben erwähnten, von Schlagintweit angestellten Versuchen war $D = 12\,d$. In einer Höhe von 12000′ fand er $e = 230$, $E = 2750$ und danach

$$a = \left(\frac{2{,}75}{12 \, . \, 0{,}23}\right)^{\frac{2}{2{,}52}} = 0{,}9971,$$

wenn man eine Länge von 1000 Fuss zur Längeneinheit wählt. Aus den in einer Höhe von 2300′ angestellten Versuchen ergiebt sich nach dieser Formel

$$a = 0{,}9029.$$

Bei Ableitung dieser Formel ist stillschweigend angenommen, dass die Pupillenöffnung des Auges bei der Beobachtung der grossen Scheibe eben so gross sei, wie bei der Beobachtung der kleinen. Es ist aber bekannt, dass sich die Pupille beim Accommodiren auf nahe Gegenstände verengert. Mit Berücksichtigung dieses geht die Gleichung 3) über in

$$a = \left(\frac{d \, . \, E \, . \, p}{D \, . \, e \, . \, P}\right)^{\frac{2}{E-e}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

wenn p den Durchmesser der Pupillenöffnung bei Beobachtung der nahen, P aber denselben bei Beobachtung der entfernteren Scheibe bezeichnet. Wild, welcher zuerst auf diesen Punkt aufmerksam gemacht hat (Pogg. Ann. CXXXIV, 1868) fand, dass sich der Durchmesser der Pupillenöffnung für die fragliche Distanzveränderung ungefähr im Verhältniss von 24 zu 30 ändert, dass also in unserem Falle $\frac{p}{P} = \frac{24}{30} = 0{,}8$ ist. Berechnet man den Durchsichtigkeitscoëfficienten aus den von Schlagintweit in einer Höhe von 2300 Fuss angestellten Beobachtungen nach Gleichung 4), so erhält man

$$a = 0{,}7225$$

statt des oben angeführten Werthes $a = 0{,}9029$. Der Einfluss der Pupillenöffnung ist also ein sehr bedeutender.

Ausser dem oben erwähnten Umstande werden aber die nach den Beobachtungen mit dem Saussure'schen Diaphanometer berechneten Werthe von a auch noch dadurch unsicher, dass eine vollkommen gleiche Beleuchtung der beiden Scheiben, welche bei der Construction der Formel stillschweigend vorausgesetzt wurde, schwer zu realisiren ist. Es bedurfte also zuverlässigerer Methoden, um den Durchsichtigkeitscoëfficienten der Luft mit grösserer Genauigkeit zu bestimmen, wie dies in der That durch die Beobachtungen von De la Rive und Wild geschehen ist.

140 Methoden und Messungen von De la Rive und Wild.

Um Versuche über die Durchsichtigkeit der Luft anzustellen, hat De la Rive einen Apparat construirt, von welchem die Annales de chimie et de physique (4. Ser., t. XII, 1867) eine kurze Beschreibung enthalten. Eine ausführlichere Beschreibung mit Abbildung und den mit einem solchen Instrumente erhaltenen Resultaten soll demnächst veröffentlicht werden. Im Wesentlichen besteht das Instrument aus zwei Fernrohren mit gemeinschaftlichem Ocular.

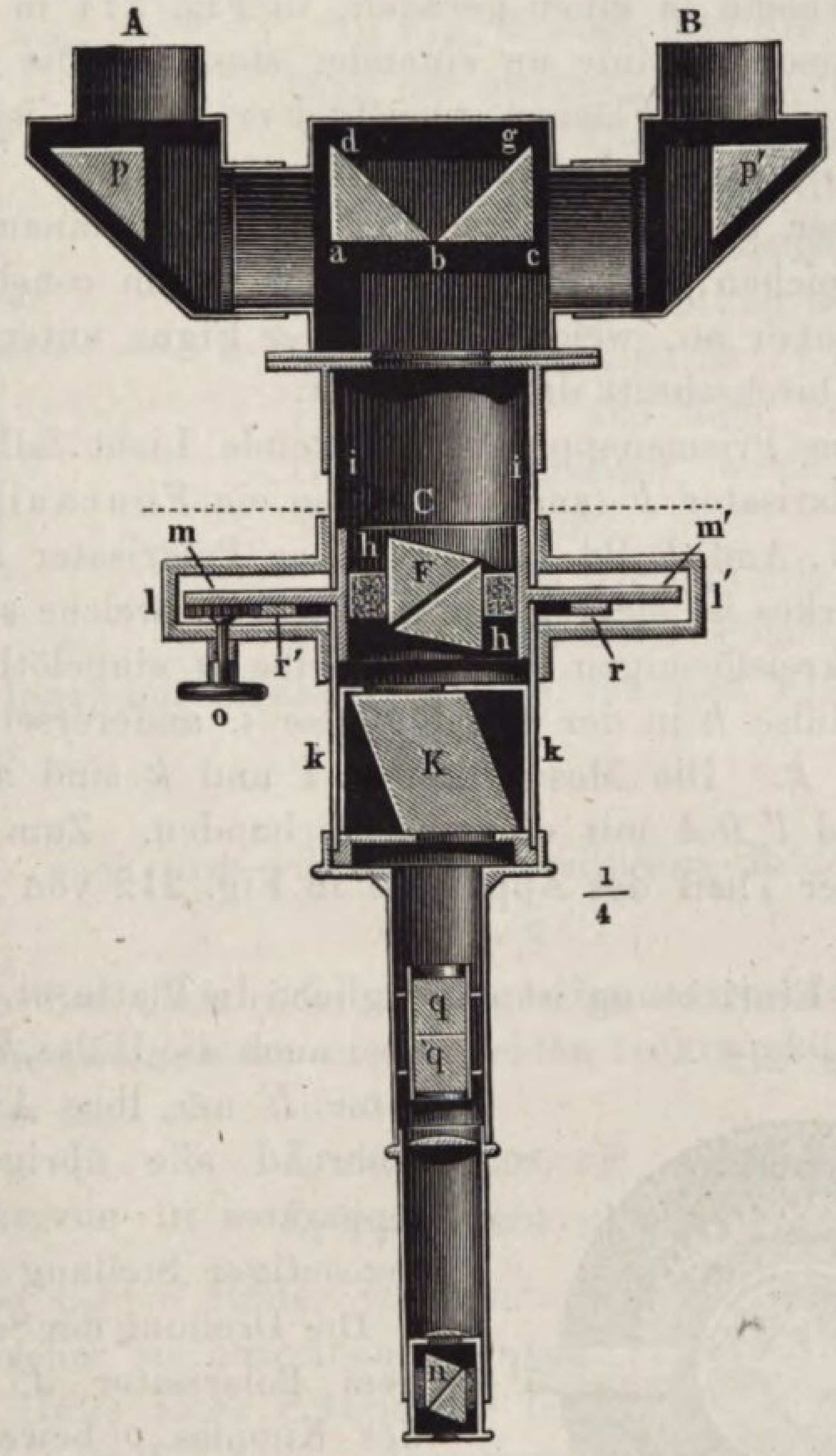
Jedes Objectiv giebt sein Bild in der einen Hälfte des Gesichtsfeldes des Oculars, so dass man die Bilder der Gegenstände, auf welche die beiden Fernrohre gerichtet sind, dicht neben einander erblickt. Der Winkel, welchen die Axen der beiden Rohre mit einander machen, kann von 0^0 bis 29^0 variirt werden. Die durch jedes Objectiv eintretenden Strahlen werden durch zwei totale Reflexionen dem Ocular zugeführt.

Als Vergleichsobjecte dienen zwei gleiche mit weisser Leinwand oder mit Papier überzogene Schirme, welche in passender Weise, möglichst gleich beleuchtet, in verschiedenen Entfernungen aufgestellt, und auf welche dann die beiden Fernrohre gerichtet werden. Von diesen beiden Miren erblickt man nun, in das Ocular hineinschauend, unmittelbar neben einander zwei Bilder, von welchen das der entfernteren Scheibe lichtschwächer erscheinen wird. Um die Helligkeit der beiden Bilder gleich zu machen, wird vor das auf die nähere Scheibe gerichtete Objectiv ein

Diaphragma mit veränderlicher Oeffnung gesetzt und diese verkleinert bis beide Bilder gleich hell erscheinen. Aus dem Verhältniss der beiden Objectivöffnungen kann man dann auf das Verhältniss der Helligkeit der beiden Miren schliessen.

Der Wild'sche Apparat ist in Fig. 211 abgebildet, und zwar mit Hinweglassung mancher Constructionsdetails und solcher Einrichtungen, welche, zu anderen Zwecken dienend, hier unnöthig sind. Das Licht,

Fig. 211.



welches von der einen der zu vergleichenden Lichtquellen kommt, tritt durch die Röhre A, das von der anderen Lichtquelle kommende tritt durch die Röhre B in den Apparat ein.

Ein Theil des bei A eintretenden Lichtes dringt ohne Ablenkung an der Vorderseite des Prismas p ein, um an seiner Rückwand eine totale Reflexion zu erleiden. Die aus dem Prisma p austretenden Strahlen treffen auf das mit p parallel gestellte Glasprisma abd, an dessen Rückfläche

sie abermals eine totale Reflexion erleiden, um dann ohne Ablenkung an der Fläche ab auszutreten und sich dann rechtwinklig zu ab fortzupflanzen.

In gleicher Weise tritt nach zweimaliger totaler Reflexion rechtwinklig zu bc ein Theil der Strahlen aus, welche, von der zweiten Lichtquelle kommend, durch die Röhre B in den Apparat eingetreten waren.

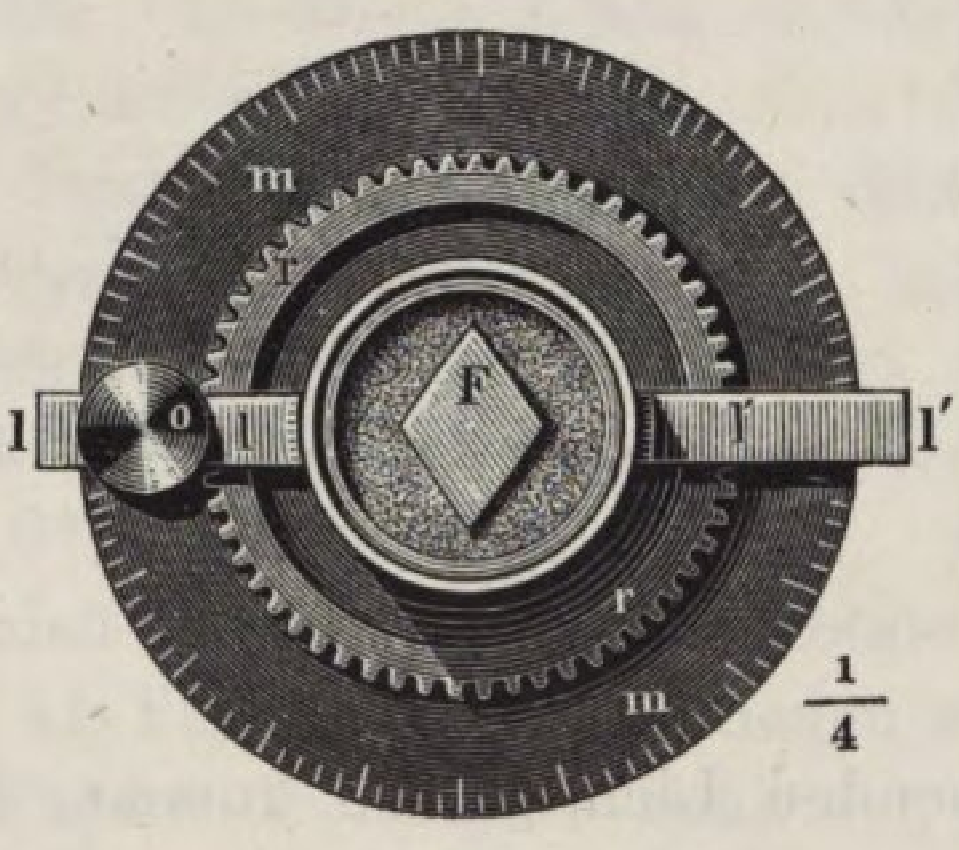
Denken wir uns nun denjenigen Theil des Apparates, Fig. 211, entfernt, welcher unterhalb der punktirten Linie liegt, so würde man, von C her gegen die beiden Prismen schauend, zwei erleuchtete Flächen ab und bc sehen, welche in einer geraden, in Fig. 211 in b zum Punkte verkürzt erscheinenden Linie an einander stossen. Die Helligkeit, mit welcher uns diese beiden Flächen erleuchtet erscheinen, ist der Intensität der bei A und B eintretenden Strahlen proportional.

Um nun aber die Helligkeit dieser beiden an einander stossenden Flächen zu vergleichen, wendet Wild das von ihm construirte Polarisationsphotometer an, welches in unserer Figur unterhalb der punktirten Linie im Durchschnitt dargestellt ist.

Das aus dem Prismenapparat austretende Licht fällt zunächst auf den Kalkspathpolarisator F (am bequemsten ein Foucault'sches Prisma, siehe Lehrbuch, 7. Aufl. I. Bd. S. 832). Der Polarisator F ist zunächst mittelst eines Korkes in einer Hülse h befestigt, welche selbst wieder in der Mitte einer kreisförmigen Messingscheibe m eingelöthet ist. Einerseits steckt die Hülse h in der Messinghülse i, andererseits steckt sie in der Messinghülse k. Die Messinghülsen i und k sind aber durch die Metallbügel l und l' fest mit einander verbunden. Zum besseren Verständniss ist dieser Theil des Apparates in Fig. 212 von K aus gesehen dargestellt.

Durch diese Einrichtung ist es möglich, die Platte m in ihrer Ebene, also auch die Hülse h sammt Polarisator F um ihre Axe zu drehen, während alle übrigen Theile des Apparates in unveränderlicher gegenseitiger Stellung bleiben.

Fig. 212.



$\frac{1}{4}$

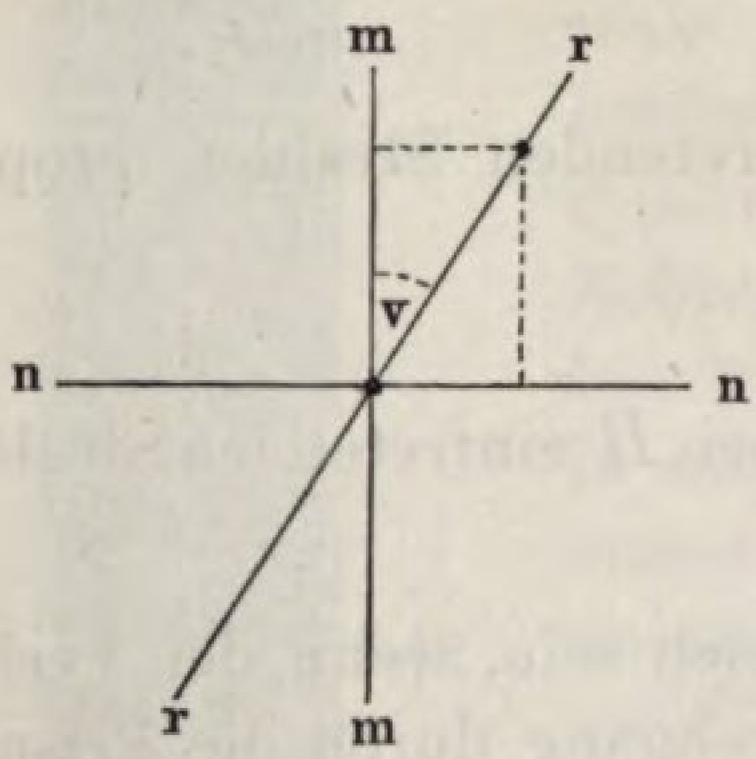
Die Drehung der Scheibe m sammt dem Polarisator F wird mittelst des Knopfes o bewerkstelligt, mit welchem ein Trieb in Verbindung steht, der in den gezahnten, auf der Platte m aufgelötheten Ring r eingreift.

Die bei A und B eintretenden Lichtstrahlen, welche wenigstens in den hier zu betrachtenden Fällen vollkommen unpolarisirt sind, werden nun durch das Kalkspathprisma F polarisirt und fallen dann auf das Kalkspathrhomboëder K, welches so in dem Apparat befestigt ist, dass sein Hauptschnitt (die Ebene des Pa-

piers) rechtwinklig steht zu der geraden Linie, in welcher die beiden Glasprismen dab und gcb zusammenstossen.

Durch K nach dem vorderen Theile des Apparates hinschauend, erblickt man nun zwei Bilder von einer jeden der beiden erleuchteten Flächen ab und bc, und zwar wird das ordinäre Bild der Fläche ab zum Theil noch über das extraordinäre Bild von bc fallen. Diese Stelle aber, an welcher das ordinäre Bild von ab und das extraordinäre von bc übereinander liegen, ist es, deren nähere Untersuchung zu einer Vergleichung der Helligkeit der Flächen ab und bc führt.

Fig. 213.



In Fig. 213 sei mm die Schwingungsrichtung der ordinären Strahlen im Rhomboëder K, also eine Linie, welche mit der Kante parallel läuft, in welcher die beiden Prismen dab und gbc zusammenstossen, so ist nn die Schwingungsrichtung der extraordinären Strahlen. Es sei ferner rr die Schwingungsrichtung der aus dem Polarisator F austretenden Strahlen, welche einen Winkel v mit mm macht.

Bezeichnen wir nun mit i und i_1 die Amplituden der aus dem Polarisator austretenden nach rr schwingenden Strahlen, welche von den Flächen ab und bc kommen, so ist

$$i \cos. v$$

Amplitude des nach mm vibrirenden ordinären Bildes der Fläche ab und

$$i_1 \sin. v$$

die Amplitude des nach nn schwingenden extraordinären Bildes der Fläche bc. Die Intensitäten dieser beiden rechtwinklig zu einander polarisirten Bilder sind also

$$L = i^2 (\cos. v)^2$$

und

$$L_1 = i_1^2 (\sin. v)^2.$$

Sind nun diese beiden Bilder vollkommen gleich lichtstark, so wird die Parthie, in welcher sie übereinander fallen, keinerlei Polarisation zeigen, was man mit Hülfe eines Polariskops leicht erkennen kann. Als Polariskop bedient sich Wild hier derselben Vorrichtung, welche er schon bei seinem Polarisationsstrobometer (Lehrbuch, 7. Aufl., I. Bd. S. 914) in Anwendung gebracht hat, nämlich eines kleinen schwach vergrössernden Fernrohrs, vor dessen Objectiv zwei gekreuzte Quarzplatten q und q' eingesetzt sind, deren Oberflächen einen Winkel von 45° mit ihrer optischen Axe machen, während vor dem Ocular ein Nicol'sches Prisma eingesetzt ist. Sind die beiden fraglichen Bilder gleich hell, so wird man an der Stelle, wo sie übereinander fallen, keinerlei Streifen wahrnehmen, ist das eine aber lichtstärker als das andere, so erscheinen die Streifen. Durch Drehung der Scheibe mm, Fig. 211, und des Polarisators F, also durch

passende Veränderung des Winkels v, kann man aber leicht die Streifen zum Verschwinden bringen.

Zur Messung des Winkels v ist der Umfang der Scheibe m mit einer Gradeintheilung versehen, deren Nullpunkt beim Nonius einsteht, wenn die Schwingungsebene des Polarisators F rechtwinklig steht auf dem Hauptschnitt des Kalkspathrhomboëders K. Hat man mit Hülfe des Knopfes o den Polarisator F so gestellt, dass die Streifen an der Stelle verschwinden, wo sich die Bilder von ab und bc überdecken, so ist $L = L_1$, also

$$i^2 \, (cos.\, v)^2 = i_1^2 \, (sin.\, v_1)^2$$

oder
$$\frac{i^2}{i_1{}^2} = (tang.\, v)^2.$$

Nun ist aber die Lichtstärke J der bei A eintretenden Strahlen proportional dem Quadrat der Amplitude i, also

$$J = ci^2,$$

und ebenso haben wir für die Lichtstärke der bei B eintretenden Strahlen

$$J_1 = c_1 \, i_1^2.$$

Die Factoren c und c_1 würden vollkommen gleich sein, wenn der Verlust an Lichtstärke, welchen die Strahlen beim Durchgang durch die Prismen p' und gcb erleiden, vollkommen dem Lichtverlust in p und dab gleich wäre, was aber in der Regel nicht der Fall ist. Wir haben also

$$\frac{J}{J_1} = \frac{ci^2}{c_1 \, i_1^2}$$

oder
$$\frac{J}{J_1} = C (tang.\, v)^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

wenn man $\frac{c}{c_1} = C$ setzt.

Die Grösse des Factors C lässt sich ermitteln, wenn man bei A und B, Fig. 211, Licht von gleicher Intensität eintreten lässt, wenn also $J = J_1$ ist. Hat man für diesen Fall den Polarisator F so gestellt, dass die Streifen im Polariskop verschwinden, und den entsprechenden Winkel v_1 gemessen, so hat man

$$C (tang.\, v_1)^2 = 1,$$

also
$$C = \frac{1}{(tang.\, v_1)^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Zur Bestimmung des Durchsichtigkeitscoëfficienten der Luft wendet nun Wild das oben beschriebene Photometer in folgender Weise an (Pogg. Ann. CXXXV, 1868). Vor die beiden Oeffnungen des in einem Zimmer aufgestellten Instrumentes P, Fig. 214, werden zwei Blechröhren R und R_1 so aufgestellt, dass ihre Axen gegen einen und denselben Punkt a einer geölten Papierscheibe gerichtet sind. Die Papierscheibe ist in der Oeffnung eines Fensters aufgestellt, dessen Flügel vollständig entfernt sind, so dass die Papierscheibe sehr gleichförmig durch das äussere

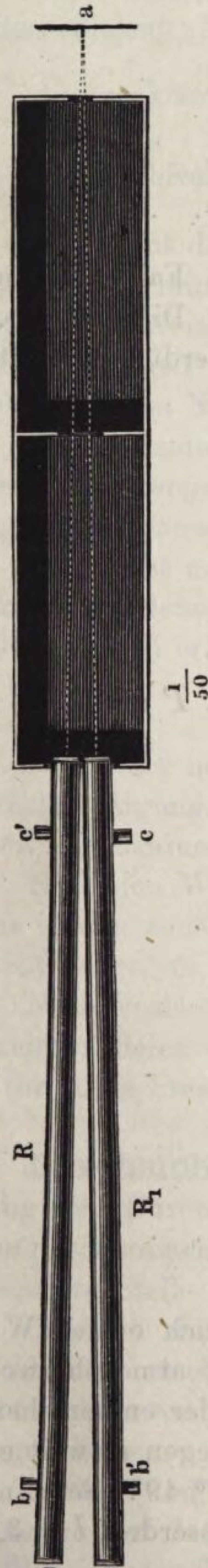


Fig. 214.

Tageslicht erleuchtet ist. Ausserdem aber wird die Scheibe durch ein Uhrwerk um einen unter a liegenden Mittelpunkt in gleichförmige Rotation versetzt.

Die Länge l der Röhren R und R_1 betrug 3,98 Meter, ihr Durchmesser 1 Decimeter. An beiden Seiten war jede dieser Röhren mit einer Platte von Spiegelglas luftdicht verschlossen.

Um alles fremde Licht möglichst vollständig abzuhalten, waren im Innern der Röhren R und R_1 zahlreiche Diaphragmen eingesetzt, welche eine centrale Oeffnung von nur 6 Centimeter Durchmesser hatten. An der Röhre R sind zwei Seitenröhrchen b und c' angebracht; durch b kann das Innere des Rohres R mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, also evacuirt werden, durch c' aber kann man in die entleerte Röhre Luft einströmen lassen, welche zuerst durch einen Trockenapparat und alsdann durch eine Röhre mit Baumwolle gegangen ist, um möglichst allen Staub aus der eintretenden Luft zu entfernen. Die Röhrchen b' und c an dem Rohre R_1 dienen zu dem gleichen Zwecke, um nämlich R_1 evacuiren und dann mit getrockneter filtrirter Luft füllen zu können.

Zwischen der Papierscheibe und den Röhren R und R_1 befindet sich zur Abhaltung fremden Lichtes noch ein Innen geschwärzter, in der Hälfte seiner Länge mit einem in der Mitte durchbrochenen Diaphragma versehener Kasten.

Bezeichnen wir mit I die Lichtstärke, welche das ordinäre Bild von ab (Fig. 211) haben würde, wenn die Luft in der Röhre R gar kein Licht absorbirte, so ist die wirkliche Lichtstärke dieses Bildes

$$J = Ia^l$$

wenn a den Durchsichtigkeitscoëfficienten der in R enthaltenen Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, und l die Länge der Röhre bezeichnet. Ebenso ist die Intensität des extraordinären Bildes von bc

$$J_1 = Ia_1{}^l$$

wenn a_1 den Durchsichtigkeitscoëfficienten der in R_1 enthaltenen verdünnten Luft bezeichnet.

Setzen wir in Gleichung 1) für J und J_1 ihre oben angeführten Werthe, und für v den Winkel, auf welchen man den getheilten Kreis m einstellen muss, damit die Streifen verschwinden, wenn die eine

Röhre Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, die andere aber verdünnte Luft enthält, so kommt

$$\left(\frac{a}{a_1}\right)^l = C(tang.\,v)^2$$

und wenn man für C seinen Werth bei 6) setzt,

$$\frac{a}{a_1} = \left(\frac{tang.\,v}{tang.\,v_1}\right)^{\frac{2}{l}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

wenn v_1 den Werth des Neutralisationswinkels für den Fall bezeichnet, dass beide Röhren Luft von gleicher Beschaffenheit und Dichtigkeit enthalten. Wenn die Luft in R nmal so dicht als die verdünnte Luft in R_1, so ist

$$a = a_1{}^n$$

$$a_1 = a^{\frac{1}{n}}$$

$$\frac{a}{a_1} = \frac{a}{a^{\frac{1}{n}}} = a^{1-\frac{1}{n}} = a^{1-\frac{p}{P}},$$

wenn man mit p den Druck der Luft in R_1 und mit P den in R bezeichnet. Aus der letzten Gleichung folgt aber ferner

$$\frac{a}{a_1} = a^{\frac{P-p}{P}}$$

und endlich

$$a = \left(\frac{a}{a_1}\right)^{\frac{P}{P-p}}$$

und wenn man für $\frac{a}{a_1}$ seinen Werth bei 3 setzt

$$a = \left(\frac{tang\, v}{tang\, v_1}\right)^{\frac{2P}{(P-p)l}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

Bei einem nach dieser Methode angestellten Versuch erhielt Wild folgende Resultate. Als beide Röhren mit Luft von atmosphärischer Dichtigkeit ($P = 715^{mm}$) gefüllt waren, ergab sich der entsprechende Neutralisationswinkel $v_1 = 43^0$. Als die Röhre R_1 dagegen so weit evacuirt worden war, dass $p = 40^{mm}$, ergab sich $v = 42^0\ 49'$. Setzt man diese Werthe von P, p, v und v_1 in Gleichung 4) und ausserdem $l = 3{,}98$, so kommt

$$a = 0{,}99659$$

für den Durchsichtigkeitscoëfficienten der in der Röhre enthaltenen Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, wenn man 1 Meter als Längeneinheit annimmt.

Nach einer Reihe sorgfältig angestellter Versuche ist bei atmosphärischem Druck (auf 1 Meter als Wegeinheit bezogen) der Durchsichtigkeitscoëfficient

trockner, möglichst staubfreier Luft . . .	0,99718
„ staubhaltiger Zimmerluft	0,99520
staubfreier, mit Wasserdampf gesättigter Luft	0,99388.

Man sieht daraus, dass der Staubgehalt der Luft ihre Durchsichtigkeit sehr vermindert. Da aber staubfreie trockne Luft durchsichtiger ist als staubfreie mit Wasserdampf gesättigte, so kann die vermehrte Durchsichtigkeit der Luft bei bevorstehendem Regen oder unmittelbar nach erfolgtem Niederschlag nicht sowohl von der Feuchtigkeit der Luft als solcher, sondern nur daher rühren, dass durch den vermehrten Wasserdampf die Menge des in der Luft suspendirten Staubes und der herumfliegenden Pflanzenkeime vermindert wird.

Berechnet man nach dem oben angegebenen Werth den Durchsichtigkeitscoëfficienten der staubfreien Luft für die Längeneinheit von 1000 Fuss, so erhält man ungefähr

$$a = 0{,}99718^{300} = 0{,}434,$$

ein Werth, der noch ungleich kleiner ist, als derjenige, welcher sich mit Berücksichtigung der Pupillenveränderung aus den Schlagintweit'schen Beobachtungen mit dem Saussure'schen Diaphanometer ergiebt.

Nach den Wild'schen Versuchen ist also die Lichtabsorption wenigstens in den zunächst über dem Boden ruhenden Luftschichten eine weit bedeutendere, als man bis dahin annehmen zu können glaubte.

Nach vorläufigen Versuchen von Wild ist übrigens der Durchsichtigkeitscoëfficient nicht für alle Farben derselbe, er ist kleiner für blaue als für rothe Strahlen.

Durchsichtigkeit und Farbe des Wassers. Die Besprechung der Durchsichtigkeit und der Farbe des Wassers gehört zwar streng genommen nicht in dieses Capitel, dennoch dürfte hier wohl die passendste Stelle dafür sein. 141

Obgleich das reine Wasser in kleinen Quantitäten vollkommen durchsichtig erscheint, so übt es doch eine bedeutende Absorption auf Lichtstrahlen aus, welche einen etwas längeren Weg im Wasser zurückzulegen haben.

Nach Wild's Messungen ist der Durchsichtigkeitscoëfficient des Wassers auf 1 Meter als Wegeinheit reducirt (Pogg. Ann. CXXXIV, 1868) bei einer Temperatur von 17° C., nach der Filtration durch

Grobes Filtrirpapier	0,5368
Mittelfeines „	0,6491
Feinstes „	0,7978.

Diese Zahlen zeigen, wie bedeutend die Durchsichtigkeit des Wassers durch Staubtheilchen beeinträchtigt wird, welche im Wasser suspendirt sind. Aber selbst für das reinste Wasser ist die Lichtabsorption noch so bedeutend, dass eine Schicht von 5 Metern Länge ungefähr nur noch $^1/_3$ des auffallenden Lichtes, eine Schicht von 300 Metern Länge aber so gut wie gar kein Licht mehr durchlässt.

Mit wachsender Temperatur nimmt der Durchsichtigkeitscoëfficient des Wassers ab. Wild fand denselben, auf 1 Meter Wegeinheit bezogen, für destillirtes, durch grobes Papier filtrirtes Wasser

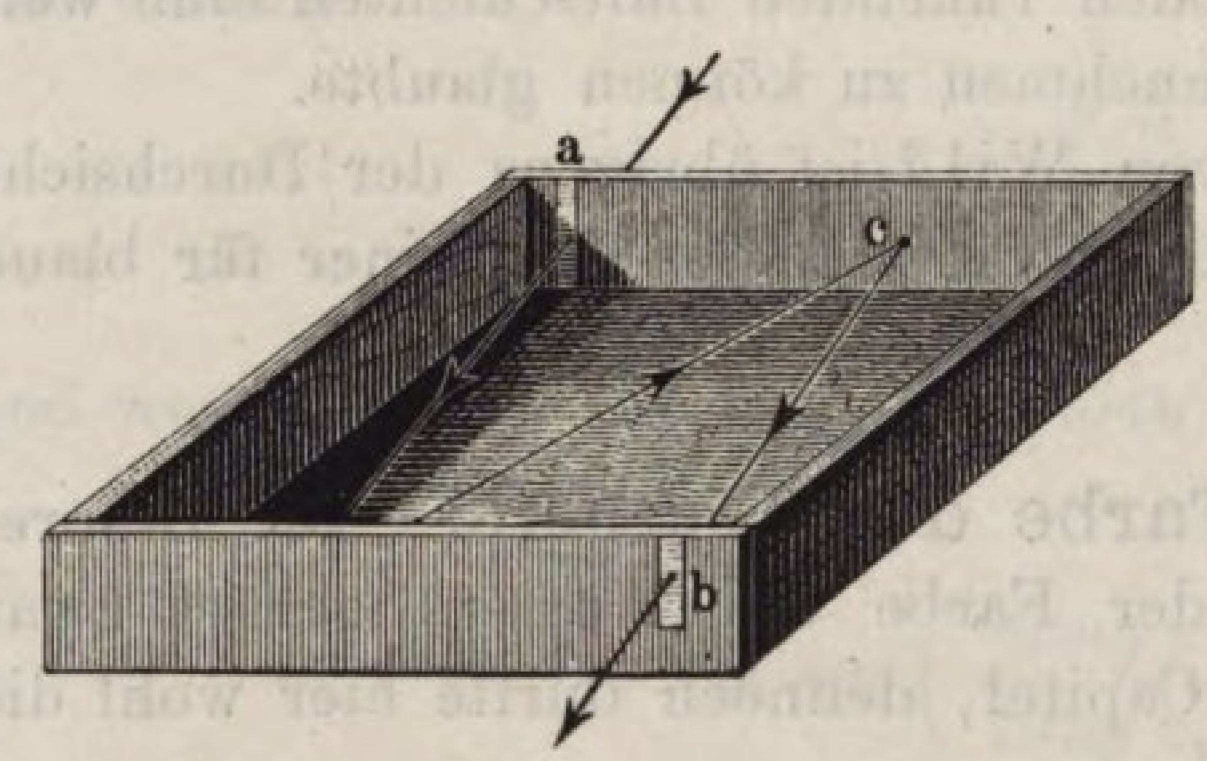
bei 24,4° C. gleich 0,4247,
„ 6,2° C. „ 0,5844.

Daraus erklärt sich nun auch, dass die Farbe des Wassers in Seen und Flüssen im Sommer eine dunklere, gesättigtere Farbe hat als im Winter, und dass ebenso das Wasser des Golfstromes intensiver gefärbt erscheint als das umgebende Wasser.

Das reine Wasser ist, wie es Bunsen experimentell bewiesen hat, nicht farblos, wie man gewöhnlich annahm, sondern es besitzt von Natur eine rein blaue Färbung. Er beobachtete diese Färbung, als er durch eine 2 Meter lange Wassersäule weisse Porzellanstücke betrachtete.

Um die Farbe des destillirten Wassers zu beobachten, wandte Beetz (Pogg. Ann. CXV, 1862) einen aus Guttapercha verfertigten Kasten, Fig. 215, an, dessen Vorder- und Hinterwand durch dünne geschliffene Glasplatten gebildet ist, welche auf ihrer Innenseite mit einer polirten Silberbelegung versehen sind. Der Abstand der beiden Glasplatten betrug 250, die Breite derselben 150 Centimeter. An der Hinterwand ist bei a, an der Vorderwand ist bei b ein verticaler Streifen der Belegung fortgenommen. Lässt man nun ein Bündel Sonnenstrahlen, welches durch den Spiegel eines Heliostats reflectirt, in horizontaler Richtung in ein dunkles Zimmer eingetreten ist, in gehöriger Richtung durch den Spalt bei a eintreten, so wird es nach einmaliger Reflexion an der Vorderwand und nach einmaliger Reflexion an der Hinterwand, nachdem es also die Länge des Kastens dreimal durchlaufen hat, durch den Spalt bei b austreten. Durch entsprechende Drehung des Kastens gegen die einfallenden Strahlen, kann man es dahin bringen, dass die Strahlen bei b austreten, nachdem sie die Länge des Kastens fünfmal, siebenmal u. s. w. durchlaufen haben. Fängt man die bei b austretenden Strahlen auf einem Schirme

Fig. 215.



von weissem Papier auf, so erhält man auf demselben ein Bild, dessen eine Hälfte weiss, dessen andere Hälfte aber blau gefärbt ist, wenn man den Kasten bis zur Hälfte seiner Höhe mit destillirtem Wasser füllt.

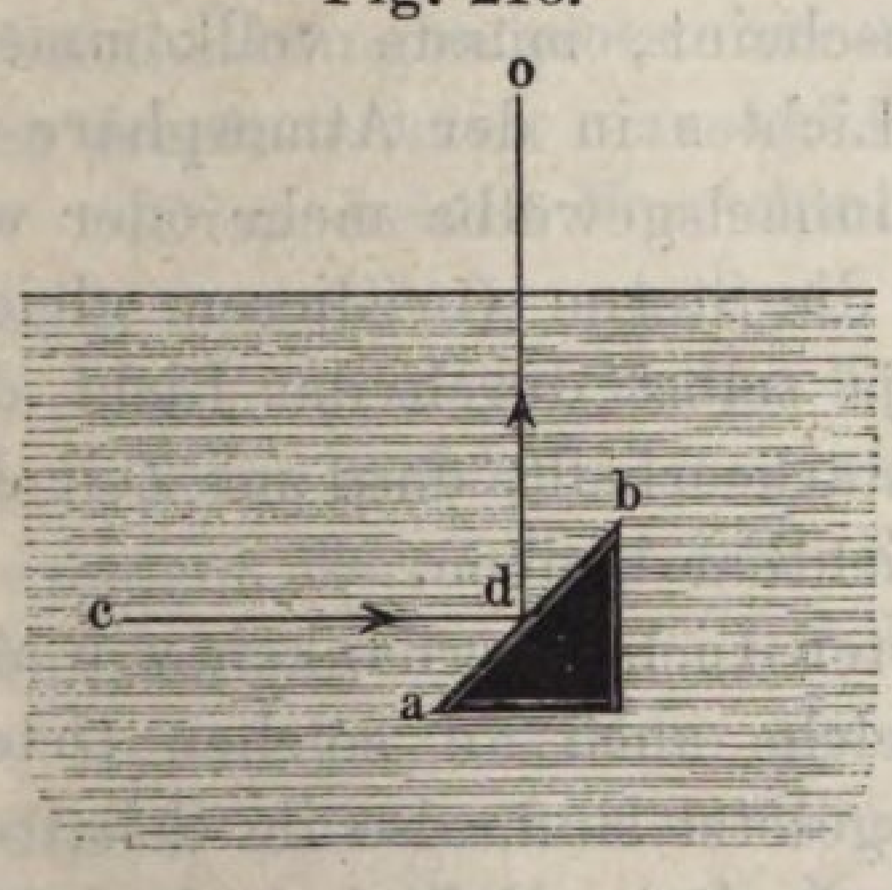
Auch subjectiv lässt sich die Erscheinung beobachten, wenn man den Spalt *a* durch diffuses Licht erleuchtet und beim Spalt *b* in den Apparat hineinschaut. Man erblickt dann auf der gegenüberliegenden Spiegelwand eine Reihe gefärbter Bilder des Spaltes *a*, dessen erstes bei *c* erscheint und von Strahlen herrührt, welche die Länge des Kastens dreimal durchlaufen haben, während die folgenden der Reihe nach weiter rechts liegenden Bilder die Länge des Kastens fünf-, sieben-, neunmal durchlaufen haben, und deshalb der Reihe nach immer dunkler gefärbt erscheinen.

Als Beetz den Kasten mit Wasser aus dem Achensee füllte, erschienen die Bilder des Spaltes *a* eben so rein blau als bei Anwendung von destillirtem Wasser, während das Wasser aus dem Tegernsee eine intensiv grüne Färbung zeigte.

Ein Hinderniss für die Reproduction des eben beschriebenen Beetz'schen Apparates dürfte übrigens in der Schwierigkeit liegen, die dazu nöthigen Silberspiegel zu erhalten; man wird deshalb wohl zu Blechröhren von etwa 4 Meter Länge seine Zuflucht nehmen müssen, welche an beiden Enden durch Platten von möglichst farblosem Spiegelglas verschlossen sind.

Um die Farbe des Lichtes zu beobachten, welches einen längeren Weg in horizontaler Richtung im Wasser des Meeres oder eines Sees zurückgelegt hat, schlug Arago vor, ein mit Luft gefülltes ringsum wasserdicht verschlossenes Hohlprisma anzuwenden, dessen Hypotenusenfläche *ab*, Fig. 216, durch geschliffenes Spiegelglas gebildet ist. Wird dies Prisma so in Wasser eingetaucht, dass die Glasfläche *ab* einen Winkel von 45° mit der Verticalen macht, so werden die in horizontaler Richtung *cd* auf die Glasplatte fallenden Strahlen hier eine totale Reflexion erleiden und in verticaler Richtung *do* ins Auge des Beobachters gelangen. Poggendorff meint, es genüge eine Platte von Spiegelglas in der Lage, wie *ab*, Fig. 216, ins Wasser zu versenken; es müsste aber doch wenigstens die untere Fläche dieser Glasplatte mit einer Spiegelbelegung versehen sein, wenn die nach oben reflectirte Lichtmenge nicht gar zu unbedeutend sein soll.

Fig. 216.



Als Beetz eine durch Glasplatten geschlossene, noch mit Luft gefüllte Blechröhre in der Art unter den Wasserspiegel im Tegernsee untertauchte, dass die obere Glasplatte in die Lage kam, wie *ab*, in Fig. 216, beobachtete er ein so intensiv smaragdgrünes Licht, wie er es auf

anderem Wege niemals gesehen hatte, im Achensee aber ein blaues Licht, wie wenn es durch eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol hindurchgegangen wäre.

Wittstein hat durch chemische Untersuchungen nachgewiesen (Sitzungsbericht der baierschen Akademie, 1860), dass die grüne Farbe des Wassers organischen Beimischungen ihren Ursprung verdanke. Mit Zunahme derselben geht die blaue Farbe des Wassers allmälig in die grüne, und aus dieser, wenn das Blau immer mehr zurücktritt, in die braune über, wie man sie in norddeutschen Landseeen und in den Seeen des Schwarzwaldes wahrnimmt. Die Auflösung organischer Substanz in Gestalt von Humussäure ist übrigens vom Alkaligehalte des Wassers abhängig. Wasser ohne Alkali kann die Humussäure nicht auflösen.

Sainte-Claire Deville hat die Beobachtung gemacht, dass solche Wasser, welche nach der Verdampfung einen weissen Rückstand lassen, blau sind, während diejenigen, deren Rückstand gelb oder bräunlich ist, grün sind.

142 **Die allgemeine Tageshelle.** Mag nun die unvollkommene Durchsichtigkeit der Atmosphäre von den Lufttheilchen selbst herrühren, oder durch Wasserdämpfe, durch Staub oder Rauchtheilchen veranlasst sein, so ist klar, dass jedes Partikelchen, welches einen Theil des auf dasselbe fallenden Lichtes aufhält, Veranlassung zu einer Reflexion und Diffusion von Licht bietet. Diese Reflexion und Diffusion des Lichtes innerhalb der Atmosphäre ist die Ursache der allgemeinen Tageshelle.

Wäre die Luft vollkommen durchsichtig, so könnte sie nicht das mindeste Licht reflectiren, das Himmelsgewölbe müsste uns also, selbst wenn die Sonne über dem Horizonte steht, absolut schwarz erscheinen, und wo die Sonne nicht unmittelbar hinscheint, müsste vollkommene Finsterniss herrschen. Die Reflexion des Lichtes in der Atmosphäre ist aber so stark, dass bei Tage das ganze Himmelsgewölbe mehr oder weniger lebhaft erleuchtet erscheint, so dass die Sterne vor diesem gleichmässig ausgebreiteten Glanze erbleichen; ja selbst durch das Licht des Mondes erscheint das Himmelsgewölbe so stark erhellt, dass zur Zeit des Vollmondes nur noch die helleren Sterne sichtbar bleiben.

Diesem durch die Atmosphäre reflectirten Lichte verdanken wir also die allgemeine Tageshelle, durch welche auch an solchen Orten, welche nicht direct den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, also im Schatten, in unseren Zimmern eine gleichmässig verbreitete Helligkeit herrscht. Je grösser die Durchsichtigkeit der Luft ist, desto intensiver ist die unmittelbare Wirkung der Sonnenstrahlen und desto geringer die allgemeine Tageshelle. Bei reiner Luft ist auf dem Gipfel hoher Gebirge der Contrast in der Helligkeit beschatteter Orte und solcher, welche direct den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, viel bedeutender, als es unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe der Fall ist.

Die allgemeine Tageshelle ist am grössten, wenn der Himmel mit dünnen faserigen Wölkchen überdeckt ist, weit geringer ist sie bei ganz reinem, blauem Himmel.

Die Farbe des Himmels. Wenn der Himmel nicht durch 143
Wolken oder durch einen Nebelschleier bedeckt ist, so zeigt er bekanntlich eine je nach den Umständen bald hellere, bald dunklere blaue Färbung.

Um für die Intensität dieser blauen Färbung eine wenigstens annähernd genaue Messung zu erhalten, construirte Saussure eine Vorrichtung, welche er Cyanometer nannte. Durch Anstreichen mit gutem Berliner-Blau stellte er eine Anzahl von 53 Papieren dar, welche vom reinen Weiss bis zum gesättigten Blau und von diesem durch Zusatz von Tusch bis zum vollkommenen Schwarz eine Reihe gleichförmig fortschreitender Zwischenstufen bildeten. Von diesen Papieren wurden gleichgrosse Stücke ausgeschnitten, und diese auf dem Umfang eines Kreises aufgeklebt. Diese 53 Nüancen von Weiss durch Blau zum Schwarz wurden Grade genannt, und die Grade wurden von Weiss anfangend gezählt.

Will man die Farbe an irgend einer Stelle des Himmels bestimmen, so hält man das Cyanometer zwischen das Auge und diese Stelle und sieht, welcher Grad der Färbung des Himmels entspricht. Die Beobachtung muss wo möglich im Freien gemacht werden, damit das Cyanometer hinreichend erleuchtet wird.

Parrot construirte zu dem gleichen Zwecke einen anderen Apparat, den man Rotationscyanometer nennen kann; es besteht aus einer weissen und einer schwarzen Scheibe, auf welchen man 1, 2, 3 ... Sectoren von gesättigter blauer Färbung befestigen kann. Durch rasche Umdrehung wird jede Scheibe ein gleichförmiges Ansehen erhalten. Aus der Anzahl der blauen Sectoren, die man auf die weisse oder die schwarze Scheibe bringen muss, um eine dem Blau des Himmels gleiche Färbung zu erhalten, kann man auf den Grad derselben schliessen.

Diese beiden Vorrichtungen sind in mancher Beziehung unbequem und mangelhaft. Arago machte den Vorschlag, die blaue Färbung, welche doppeltbrechende Krystallblättchen bei bestimmter Dicke im polarisirten Lichte zeigen, zur Vergleichung mit dem Himmelsblau anzuwenden. Das Blau solcher Krystallblättchen erreicht nämlich seine grösste Intensität, wenn das einfallende Licht vollkommen polarisirt ist; je unvollständiger aber die Polarisation der einfallenden Strahlen ist, desto blasser und mehr dem Weiss sich nähernd wird die blaue Färbung des Blättchens. Aber auch die Herstellung und Ausführung eines auf dieses Princip gegründeten Cyanometers stösst auf mannigfache Schwierigkeiten und es scheint bis jetzt wenigstens das Polarisationscyanometer noch nicht in die Praxis eingetreten zu sein.

Schon eine oberflächliche Betrachtung des heiteren Himmels zeigt uns, dass die blaue Färbung desselben im Zenith am intensivsten ist, und

dass sie nach dem Horizont hin mehr und mehr weisslich wird. An einem heiteren Tage fanden Saussure in Genf und Humboldt auf dem Atlantischen Ocean (16° 19′ nördlicher Breite) für die Bläue des Himmels in verschiedenen Höhen über dem Horizonte folgende Werthe:

Höhe.	Cyanometergrade	
	Humboldt.	Saussure.
1°	3,0°	4,0°
10	6,0	9,0
20	10,0	13,0
30	16,5	15,5
40	18,0	17,5
60	22,0	20,0

Auf den Gipfeln hoher Berge erscheint der Himmel weit dunkler als in den Ebenen. So fand Saussure die Färbung des Zeniths auf dem Col du géant gleich 31° seines Cyanometers, während gleichzeitig zu Genf nur 22,5° beobachtet wurden. An einem sehr schönen Tage stieg auf dem Col du géant die Farbe des Zeniths auf 37°; auf dem Gipfel des Montblanc wurden sogar 39° beobachtet.

In wärmeren Ländern ist die Farbe des Himmels tiefer blau als in solchen, welche weiter vom Aequator entfernt liegen; bei gleicher geographischer Breite ist der Himmel der Binnenländer blauer, als auf dem Meere und den Küstenländern, was leicht begreiflich ist, wenn man bedenkt, dass das reine Blau des Himmels besonders durch die in der Luft schwebenden condensirten Wasserdämpfe, durch feine Nebel gebleicht wird, welche den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch schon dicht genug zu sein, um Wolken zu bilden.

Während das Blau des Himmels offenbar von dem in der Atmosphäre reflectirten Lichte herrührt, zeigen Lichtstrahlen, welche einen weiten Weg durch die unteren dichteren Schichten des Luftmeeres zurückgelegt haben, eine tief gelbe bis ins Rothe spielende Färbung. Während der Mond, wenn er hoch über dem Horizonte steht, mit einem weissen, ja etwas bläulichen Lichte strahlt, sehen wir dieses Gestirn oft blutroth aufgehen, und ebenso ist die prachtvolle Erscheinung des Morgen- und Abendrothes ein Beweis dafür, dass die Atmosphäre vorzugsweise orangefarbenen und rothen Strahlen den Durchgang gestattet.

144 **Erklärung der blauen Farbe des Himmels und des Abendrothes.** Viele Physiker, und unter diesen besonders Brandes,

suchen die blaue Farbe des Himmels und das Abendroth einfach durch die Annahme zu erklären, dass die Luft vorzugsweise die blauen Strahlen reflectire, dagegen aber die gelben und rothen vollständiger durchlasse als alle anderen.

Nach der Meinung von Forbes (Pogg. Ann. XLVI, 349; XLVII, 593) rührt aber wenigstens die Erscheinung des Abend- und Morgenrothes nicht sowohl von der Luft selbst, als vielmehr von dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfe her.

Eines Tages stand Forbes neben einem Dampfwagen, der durch sein Sicherheitsventil eine grosse Menge Dampf entliess; zufällig sah er durch die aufsteigende Dampfsäule nach der Sonne und war überrascht, sie sehr tief orangeroth gefärbt zu sehen. Später beobachtete er noch öfters dasselbe Phänomen und entdeckte eine wichtige Abänderung desselben. Nahe über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausblies, war dessen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in grösserer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollständiger verdichtet war, hörte die Erscheinung gänzlich auf. Selbst bei mässiger Dicke war die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenstrahlen, sie warf einen Schatten wie ein fester Körper; und wenn ihre Dicke gering war, so war sie zwar durchscheinend, aber durchaus farblos. Die Orangefarbe des Dampfes scheint also einer besonderen Stufe der Verdichtung anzugehören. Bei vollkommener Gasgestalt ist der Wasserdampf ganz durchsichtig und farblos, in jenem Uebergangszustande ist er durchsichtig und rauchroth, wenn er aber vollständig zu Nebelbläschen verdichtet ist, so ist er bei geringer Dicke durchscheinend und farblos, bei grosser Dicke vollkommen undurchsichtig.

Forbes wendet dies zur Erklärung der Abendröthe an. Als reine, farblose, elastische Flüssigkeit giebt der Wasserdampf der Luft ihre grösste Durchsichtigkeit, wie man sie besonders beobachtet, wenn sich nach einem heftigen Regen der Himmel wieder aufhellt. Im Uebergangszustande lässt er die gelben und rothen Strahlen durch und bringt in diesem Zustande die Erscheinungen der Abendröthe hervor.

Diese Theorie erklärt auch sehr gut, dass das Abendroth weit brillanter ist als das Morgenroth; dass Abendroth und Morgengrau die Anzeigen schönen Wetters sind. Gleich nach dem Temperaturmaximum des Tages und vor Sonnenuntergang fangen der Boden und die Luftschichten in verschiedener Höhe an, Wärme durch Strahlung zu verlieren. Bevor sich aber in Folge dessen der Wasserdampf vollständig verdichtet, durchläuft er jenen Uebergangszustand, welcher die Abendröthe erzeugt. Des Morgens ist es anders. Die Dämpfe, welche bei Umkehrung des Processes wahrscheinlich das Roth erzeugt haben würden, steigen nicht eher auf, als bis die Wirkung der Sonne lange genug angehalten hat; alsdann ist aber die Zeit des Sonnenaufgangs vorüber, die Sonne steht schon hoch am Himmel. Das feurige Ansehen des Morgenhimmels rührt von der Anwesenheit eines so grossen Ueberschusses an Feuchtigkeit her,

dass durch die Verdichtung in höheren Regionen wirklich Wolken entstehen, im Gegensatze mit der Tendenz der steigenden Sonne, sie zu zerstreuen; das Morgenroth ist deshalb als Vorbote baldigen Regens zu betrachten. Diese Theorie dürfte wohl durch die in §. 145 mitgetheilten Thatsachen mannigfache Modificationen erleiden.

Clausius hat die Rolle, welche der Wasserdampf bei der Färbung des Himmels spielt, näher untersucht (Pogg. Annal. Bd. 76).

Zunächst sucht er zu beweisen, dass die atmosphärische Reflexion weder von feinen, undurchsichtigen, in der Luft schwebenden fremden Partikelchen, noch von massiven Wasserkugeln herrühren könne, sondern dass dieselbe von den zarten in der Luft schwebenden Wasserbläschen abzuleiten sei.

Diese Wasserbläschen verhalten sich nun ganz wie mikroskopische Seifenbläschen; sie werden eine von der Dicke der dünnen Wasserhülle abhängige Farbe reflectiren; bei der geringsten Dicke, bei welcher eine dünne Schicht überhaupt eine Färbung wahrnehmen lässt, zeigt sich das Blau erster Ordnung (Physik, 7. Aufl. Bd. I, S. 792). Wenn demnach in der Luft nur solche Wasserbläschen schweben, deren Hülle die Dicke nicht überschreitet, welche das Blau erster Ordnung liefert, so müssen sie, nach der Ansicht von Clausius, den Himmel mit dem Blau erster Ordnung überziehen.

Wenn die Luft feuchter wird, so werden die schon vorhandenen Bläschen an Dicke zunehmen, zugleich aber bilden sich von Neuem die feinsten Bläschen, so dass dann von einer bestimmten Gränze der Dicke bis zu den feinsten herab Wasserbläschen von allen Zwischenstufen gleichzeitig in der Luft schweben; es kann deshalb auch der Himmel nicht etwa die Farbe irgend einer dickeren Schicht annehmen, sondern das Zusammenwirken aller weiteren Farben, welche die einzelnen Bläschen etwa noch liefern mögen, kann zusammen nur eine weissliche Farbe hervorbringen, welche das reine Blau des Himmels um so mehr bleicht, je mehr dickere Bläschen den feineren beigemischt sind.

Schon Newton hatte die Ansicht ausgesprochen, dass das Blau des Himmels das Blau erster Ordnung sei, ohne jedoch diese Ansicht weiter auszuführen oder zu begründen, wie dies jetzt von Clausius geschehen ist. Wenn man aber mit Aufmerksamkeit die Farben der Newton'schen Ringe betrachtet, so wird man gestehen müssen, dass in der ganzen ersten Ordnung kein Blau vorkommt, welches sich auch nur entfernt mit dem prachtvollen Blau des Himmels vergleichen liesse. Das Blau erster Ordnung ist ein, nur wenig ins Blaue spielendes Weiss; das Schwarz des centralen Fleckes geht durch ein bläuliches Grau in bläuliches Weiss und dieses in Gelblichweiss über. Von dieser Seite also scheint die Theorie von Clausius wohl einer Ergänzung zu bedürfen, um mit den vorliegenden Thatsachen in Uebereinstimmung gebracht zu werden; zu einer solchen Uebereinstimmung glaube ich aber auf folgendem Wege gelangen zu können.

Der oberste Streifen in Fig. 217 zeigt nach der in meinem Lehrbuche der Physik näher erörterten Weise, wie das Blau erster Ordnung zusammengesetzt ist. Während das Blau vollständig reflectirt wird, bleibt von dem zum reinen Weiss gehörigen Violett noch 0,96, von dem zum reinen Weiss gehörigen Roth noch 0,83 übrig. Man sieht nun leicht ein, dass in dem Blau erster Ordnung von allen Farben des Spectrums noch so viel übrig bleibt, dass ein entschiedenes Vorherrschen von Blau unmöglich ist.

Wenn aber das Blau erster Ordnung, welches von einem ersten Wasserbläschen reflectirt wird, auf ein zweites fällt, so wiederholt sich derselbe Vorgang. Bezeichnen wir die Intensität des von dem zweiten Wasserbläschen reflectirten Blau mit 1, so ist die Intensität des vom zweiten Bläschen reflectirten Violett nur noch $0{,}96^2$ und des vom zweiten Bläschen reflectirten Roth nur noch $0{,}83^2$.

So wird denn bei jeder folgenden Reflexion von einem solchen feinen Wasserbläschen der Antheil aller übrigen Farben, welche das Vorherrschen des Blau abschwächen können, mehr und mehr verringert. Bezeichnen

Fig. 217.



wir die Intensität des Blau nach zehnmaliger Reflexion (d. h. nachdem die Lichtstrahlen der Reihe nach von zehn Wasserbläschen reflectirt worden sind, deren jedes für sich im weissen Lichte Blau der ersten Ordnung zeigt) mit 1, so ist die Intensität des Violett nach zehnmaliger Reflexion nur noch $0{,}96^{10} = 0{,}66$ und die des Roth nur noch $0{,}83^{10} = 0{,}15$.

Der mittlere Streifen in Fig. 217 zeigt die Zusammensetzung der Farbe, welche von dem ursprünglich weissen Lichte bleibt, nachdem es der Reihe nach von zehn Bläschen reflectirt worden ist, von welchen jedes für sich allein im weissen Lichte das Blau erster Ordnung zeigt. In gleichem Sinne stellt der unterste Streifen in Fig. 217 das Blau erster Ordnung nach 100maliger Reflexion dar.

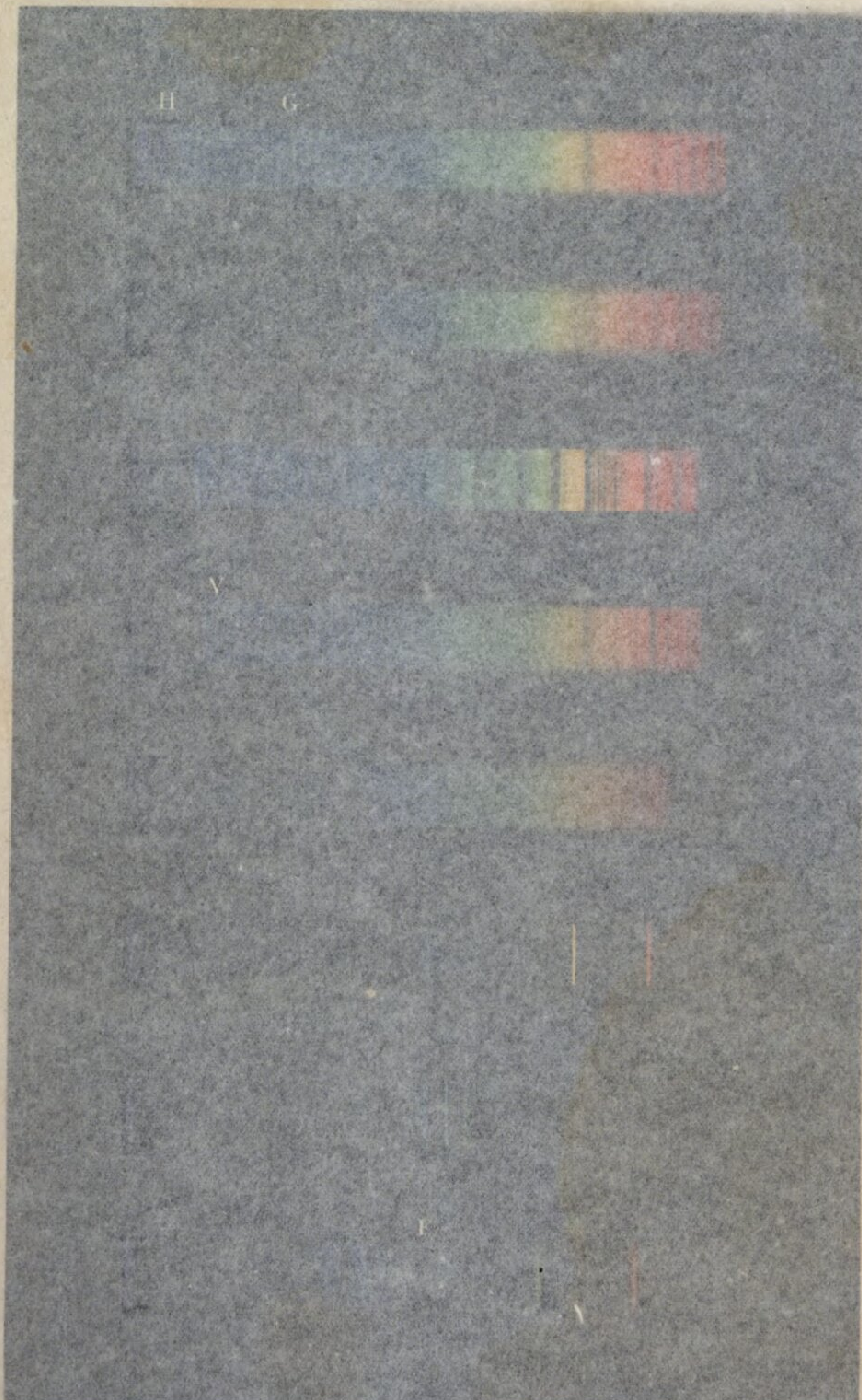
Man sieht nun leicht, wie durch wiederholte Reflexion des Lichtes auf dünnen Wasserbläschen, von denen jedes einzelne nur ein ganz blasses weissliches Blau liefern würde, eine sehr intensive blaue Färbung entstehen kann, und somit dürfte wohl das Blau des Himmels, wenn auch kein einfaches, doch ein gewissermaassen potenzirtes Blau erster Ordnung sein.

145 **Atmosphärische Linien.** Schon am Schlusse des §. 250 des ersten Bandes meines Lehrbuchs der Physik (7. Aufl.) ist erwähnt worden, dass bei niedrigem Stande der Sonne im Sonnenspectrum dunkle Linien und Bänder auftreten, welche zur Mittagszeit gar nicht oder doch nur schwach sichtbar sind. Es ist dort bereits angeführt worden, dass diese Linien von einer Lichtabsorption in der Atmosphäre herrühren und dass sie grossentheils durch die Gegenwart des Wasserdampfes in der Luft bedingt sind.

Man kann diese Linien am einfachsten beobachten, wenn man mit einem geradlinigen Spectroskop nach dem durch die untergehende Sonne gerötheten Himmel schaut. Man sieht dann, wie das Spectrum Nr. 2 auf Tab. 10 zeigt, in dem weniger brechbaren Theile des Spectrums dunkle Bänder, von welchen bei höherem Stande der Sonne nichts wahrzunehmen ist, und von denen besonders zwei auffallen, welche in einem hellen gelben Streifen getrennt erscheinen und von denen das eine mit δ bezeichnet ist. Fig. 218 ist eine verkleinerte Copie der sorgfältig ausgeführten Abbildung, welche Angström in dem Atlas zu seinen Recherches sur le spectre solair (Upsala 1868) von den atmosphärischen Linien gegeben hat. Das von δ zunächst nach dem Roth hin liegende dunkle Band deckt die Fraunhofer'sche Linie D. Selbst wenn die Sonne noch etwas höher steht, so dass die dunklen Bänder bei D und δ noch nicht merklich vortreten, erscheint doch schon der Zwischenraum zwischen ihnen als ein heller gelber Streif auf etwas dunklerem Grunde.

Der Erste, welcher die Veränderlichkeit der sogenannten atmosphärischen oder tellurischen Linien beobachtete, war Zantedeschi. Nach ihm haben sich zunächst Brewster und Gladstone mit dem Studium derselben beschäftigt und eine Zeichnung derselben veröffentlicht (Phil. Trans. 1860, T. 150). Die beste Abbildung derselben ist ohne Zweifel die bereits erwähnte Angström'sche, deren Copie in Figur 218 gegeben ist.

Janssen fand im Jahre 1864, dass die atmosphärischen Linien auf dem Gipfel des Faulhorn (8260′ Meereshöhe) weit weniger intensiv erscheinen, als in der Ebene. Bei Genf liess Janssen des Nachts einen Scheiterhaufen von Tannenholz anzünden, und beobachtete die Flammen aus einer Entfernung von 21 000 Metern durch ein Spectroskop. Das so beobachtete Spectrum zeigte dieselben atmosphärischen Absorptionsstreifen wie das Spectrum der untergehenden Sonne, während eine solche


H
G
F

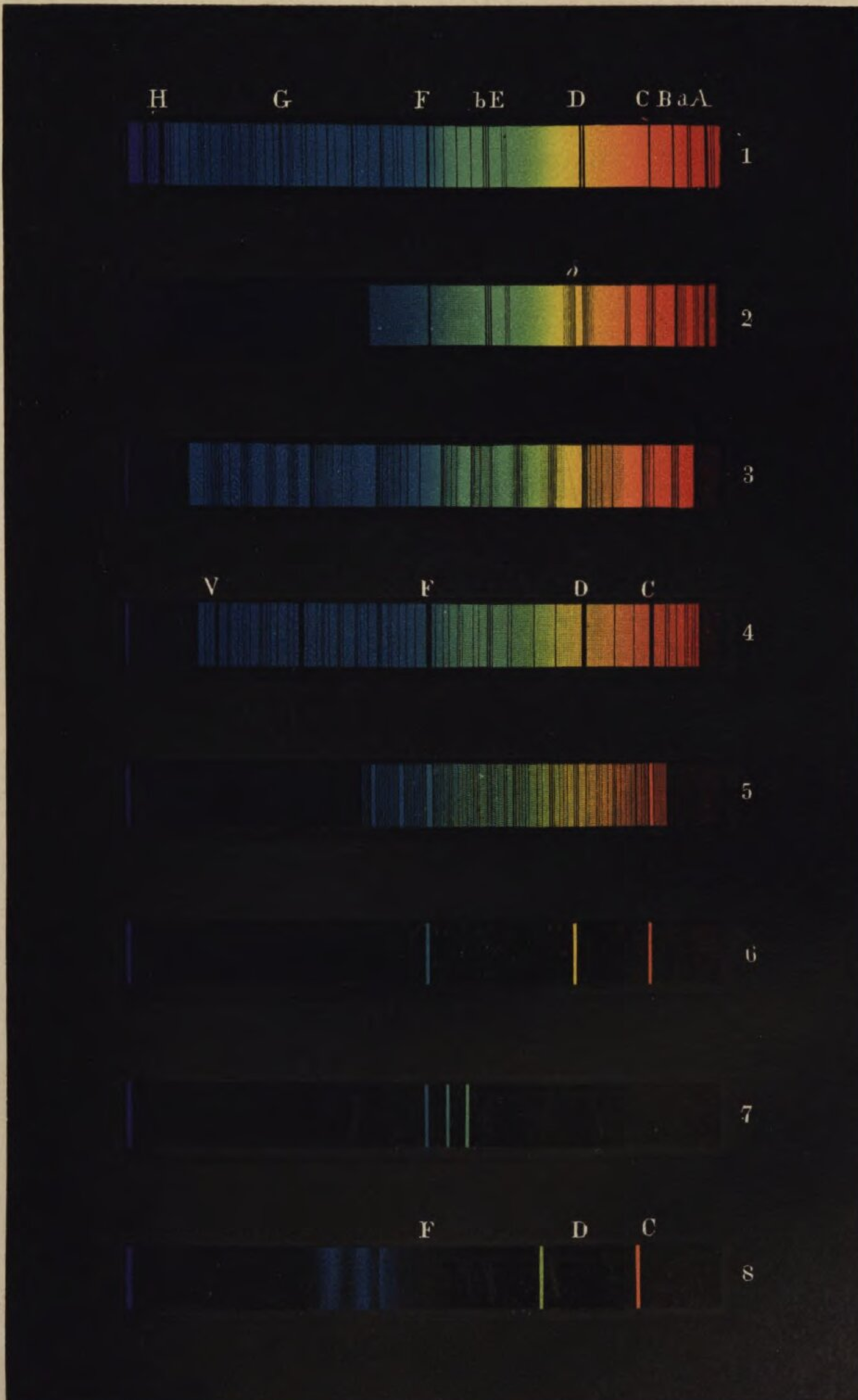
Man sieht nun leicht, wie durch wiederholte Reflexion des Lichtes auf dünnen Wasserbläschen, von denen jedes einzelne nur ein ganz blasses weissliches Blau liefern würde, eine sehr intensive blaue Färbung entstehen kann, und somit dürfte wohl das Blau des Himmels, wenn auch kein einfaches, doch ein gewissermaassen potenzirtes Blau erster Ordnung sein.

145 **Atmosphärische Linien.** Schon am Schlusse des §. 250 des ersten Bandes meines Lehrbuchs der Physik (7. Aufl.) ist erwähnt worden, dass bei niedrigem Stande der Sonne im Sonnenspectrum dunkle Linien und Bänder auftreten, welche zur Mittagszeit gar nicht oder doch nur schwach sichtbar sind. Es ist dort bereits angeführt worden, dass diese Linien von einer Lichtabsorption in der Atmosphäre herrühren und dass sie grösstentheils durch die Gegenwart des Wasserdampfes in der Luft bedingt sind.

Man kann diese Linien am einfachsten beobachten, wenn man mit einem gradsichtigen Spectroskop nach dem durch die untergehende Sonne gerötheten Himmel schaut. Man sieht dann, wie das Spectrum Fig. 2 auf Tab. 10 zeigt, in dem weniger brechbaren Theile des Spectrums dunkle Bänder, von welchen bei höherem Stande der Sonne nichts wahrzunehmen ist, und von denen besonders zwei auffallen, welche in einem hellen gelben Streifen getrennt erscheinen und von denen das eine mit δ bezeichnet ist. Fig. 218 ist eine verkleinerte Copie der sorgfältig ausgeführten Abbildung, welche Ångström in dem Atlas zu seinen Recherches sur le spectre solaire (Upsala 1868) von den atmosphärischen Linien gegeben hat. Das von δ zunächst nach dem Roth hin liegende dunkle Band deckt die Fraunhofer'sche Linie D. Selbst wenn die Sonne noch etwas höher steht, so dass die dunklen Bänder bei D und δ noch nicht deutlich hervortreten, erscheint doch schon der Zwischenraum zwischen beiden als ein heller gelber Streif auf etwas dunklerem Grunde.

Der Erste, welcher die Veränderlichkeit der sogenannten atmosphärischen oder tellurischen Linien beobachtete, war Zantedeschi. Nach ihm haben sich zunächst Brewster und Gladstone mit dem Studium derselben beschäftigt und eine Zeichnung derselben veröffentlicht (Phil. Trans. 1860, T. 150). Die beste Abbildung derselben ist ohne Zweifel die bereits erwähnte Ångström'sche, deren Copie in Figur 218 gegeben ist.

Janssen fand im Jahre 1864, dass die atmosphärischen Linien auf dem Gipfel des Faulhorn (8260′ Meereshöhe) weit weniger intensiv erscheinen, als in der Ebene. Bei Genf liess Janssen des Nachts einen Scheiterhaufen von Tannenholz anzünden, und beobachtete die Flamme aus einer Entfernung von 21000 Metern durch ein Spectroskop. Das so beobachtete Spectrum zeigte dieselben atmosphärischen Absorptionsstreifen wie das Spectrum der untergehenden Sonne, während eine solche


H G F bE D C B a A
1
2
3
V F D C
4
5
6
7
F D C
8

Flamme in der Nähe beobachtet, ein continuirliches Spectrum liefert. Aehnliche Beobachtungen stellte auch Secchi in Rom an.

Dass die atmosphärischen Linien zum grossen Theil wenigstens vom Wasserdampf in der Luft herrühren, hat Janssen dadurch bestätigt, dass er das Licht von 16 combinirten Gasflammen durch eine 37 Meter lange, an beiden Enden durch starke Platten von Spiegelglas geschlossene eiserne Röhre beobachtete, welche mit gesättigtem Wasserdampf von 7 Atmosphären Spannkraft gefüllt war. Es zeigte sich ein Absorptionsspectrum, dessen dunkle Linien sich sämmtlich unter den tellurischen Linien des Spectrums der untergehenden Sonne wiederfinden, während sich diese Absorptionslinien nicht zeigten, wenn die Röhre nicht mit Wasserdampf, sondern mit trockner Luft gefüllt war.



Fig. 218.

Angström hat übrigens den Beweis geliefert, dass keineswegs alle mit dem Stande der Sonne veränderlichen und deshalb als tellurische zu bezeichnenden Linien vom Wasserdampf der Atmosphäre herrühren. Im Januar 1864 beobachtete er zu Upsala bei einer Temperatur von — 27° C. wiederholt das Sonnenspectrum. Die tellurischen Streifen bei *D*, *C* und *a*, so wie diejenigen zwischen *a* und *B*, waren fast vollständig verschwunden, während die Gruppen *A* und *B*, und eine dritte, ungefähr in der Mitte zwischen *D* und *C* gelegene und in unserer Figur mit *α* bezeichnete, sehr intensiv waren. Dasselbe gilt von dem Absorptionsstreifen *δ*, links von *D*. Bei genügender Vergrösserung lässt sich der Schattenstreifen *δ*, wenn er eben merklich zu werden beginnt, in sehr feine Linien auflösen; beim Untergang der Sonne aber vereinigen sich diese Linien und bilden ein zusammenhängendes dunkles Band.

Diese Absorptionspartieen bei *A* und *B*, *α* und *δ* rühren also nicht von Wasserdampf, sondern höchst wahrscheinlich von einem zusammengesetzten permanenten Gase, vielleicht von Kohlensäure her.

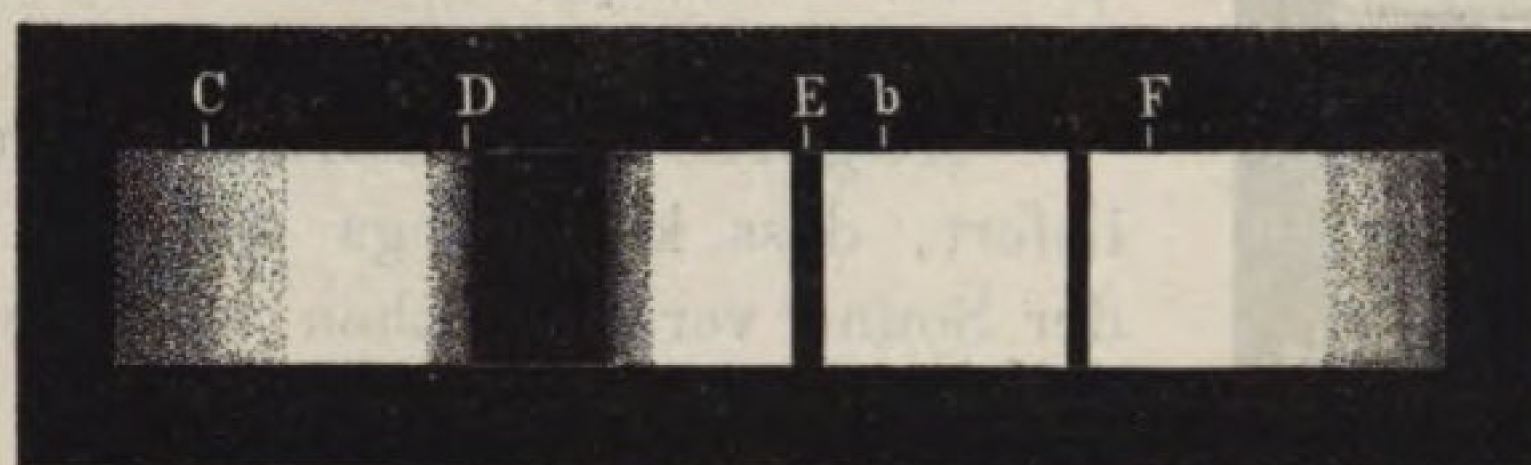
In unserer Figur sind die von Wasserdampf herrührenden Absorptionsstreifen am unteren

Rande mit *W*, die übrigen atmosphärischen Absorptionsparthieen sind mit *K* bezeichnet.

Indem die Sonne sich dem Horizonte nähert, schreitet die atmosphärische Lichtabsorption ungefähr in folgender Weise voran. Zuerst verschwindet der violette Theil des Spectrums bis *G*. Während dann die Absorption von *G* gegen das Roth hin fortschreitet, treten dann die oben besprochenen Absorptionsbänder und Linien in Roth und Gelb auf, und zwar um so dunkler werdend, je tiefer die Sonne sinkt. Zuletzt bleiben nur noch die hellen Parthieen im Roth und Orange zwischen *B* und *D*, und die grüngelbe Parthie unmittelbar links von *δ*; am hellsten aber bleibt der Zwischenraum zwischen *D* und *δ*.

Durch diese einfachen Absorptionsphänomene erklären sich nun die Erscheinungen der Morgen- und Abendröthe weit einfacher, als durch die übrigen zu diesem Zwecke aufgestellten Theorien.

Fig. 219.



Jetzt, nachdem wir das Absorptionsspectrum der Erdatmosphäre kennen gelernt haben, müssen wir noch einmal auf die Spectra des Mondes und der Planeten zurückkommen.

Im Spectrum des Mondes erscheinen die atmosphärischen Linien der Erde weder verstärkt noch vermehrt, wie sich zum Voraus erwarten liess, da der Mond nicht von einer Atmosphäre umgeben ist.

Auch im Spectrum der Venus erscheinen die Fraunhofer'schen Linien völlig unverändert. Dies berechtigt uns aber noch nicht dazu, die Existenz einer Venusatmosphäre, auf welche manche andere Erscheinungen hindeuten, in Abrede zu stellen. Möglicherweise wird das Licht der Sonne nicht von der Oberfläche dieses Planeten, sondern von Wolken reflectirt, welche in einer gewissen Höhe über seiner Oberfläche schweben.

Im Spectrum des Jupiter erscheinen die Absorptionsstreifen der Erdatmosphäre sehr verstärkt, woraus folgt, dass die Atmosphäre dieses Planeten gleichfalls Wasserdampf enthält. Ausserdem zeigt aber das Jupiters-Spectrum noch einen starken, der Erdatmosphäre fremden Absorptionsstreifen im Roth. Das Spectrum des Saturn ist dem des Jupiter sehr ähnlich.

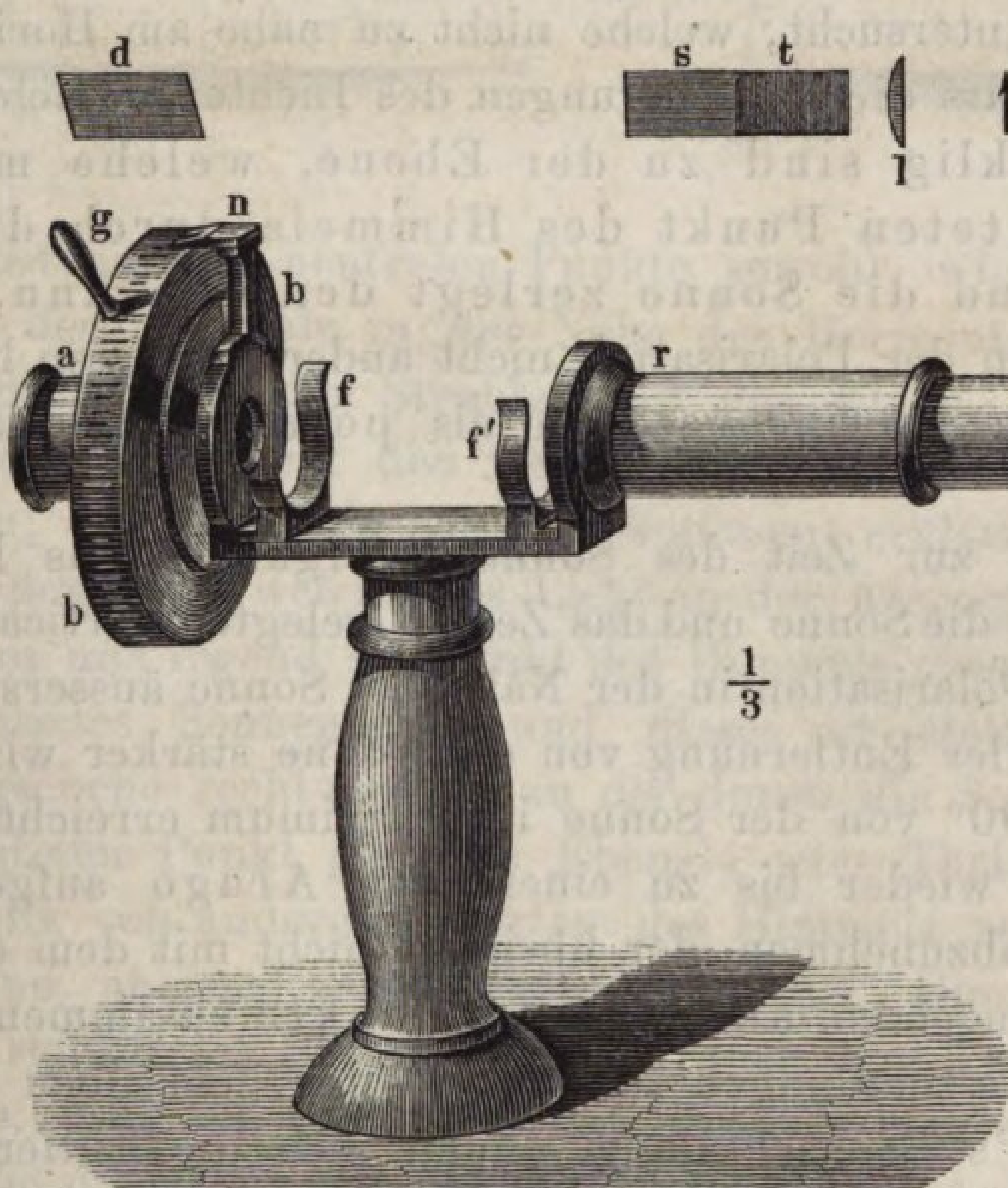
Auch im Spectrum des Mars erscheinen die Erdlinien sehr verstärkt, namentlich gilt dies von den Absorptionsbändern in der Nähe von *D*, der Mars hat also eine der Erde ähnliche Atmosphäre; dann aber treten im Spectrum des Mars noch starke Absorptionsstreifen in Blau auf.

Die eben besprochenen Planetenspectra sind vorzugsweise von Huggins untersucht worden. Im Jahre 1869 hat Secchi die Spectra des Uranus und des Neptun untersucht. Ersteres ist in Fig. 219 dargestellt. Das Spectrum des Neptun ist dem des Uranus ähnlich, wenn auch nicht übereinstimmend.

Polarisation des blauen Himmels. Da das Licht, welches 146
uns irgend ein Punkt des blauen Himmelsgewölbes zusendet, ursprünglich von der Sonne ausgehendes, aber von den einzelnen Lufttheilchen reflectirtes Licht ist, so muss es auch die Erscheinung einer partiellen Polarisation zeigen.

Die Polarisation der Atmosphäre wurde im Jahre 1809 zuerst von Arago beobachtet. Schon eine einfache parallel mit der Axe geschliffene Turmalinplatte oder ein Nicol'sches Prisma genügt, um die Erscheinung

Fig. 220.



zu beobachten, am schönsten zeigt sie sich aber bei Anwendung des bereits im Lehrbuch der Physik (7. Aufl., I. Bd. S. 884) besprochenen Polariskops von Savart. Es besteht bekanntlich aus einer Combination zweier gleich dicker, unter einem Winkel von 45⁰ gegen die optische Axe geschnittener, gekreuzter Quarzplatten mit einem Polarisator, also einer Turmalinplatte oder einem Nicol'schen Prisma, dessen Schwingungsebene einen Winkel von 45⁰ mit den beiden Schwingungsebenen der Quarzplatten macht. Das an dem Apparat Fig. 220 befindliche Rohr *rr* ist nichts anderes, als ein Savart'sches Polariskop. Man braucht dasselbe, nachdem es von dem Stativ abgeschraubt worden ist, nur gegen einen Punkt

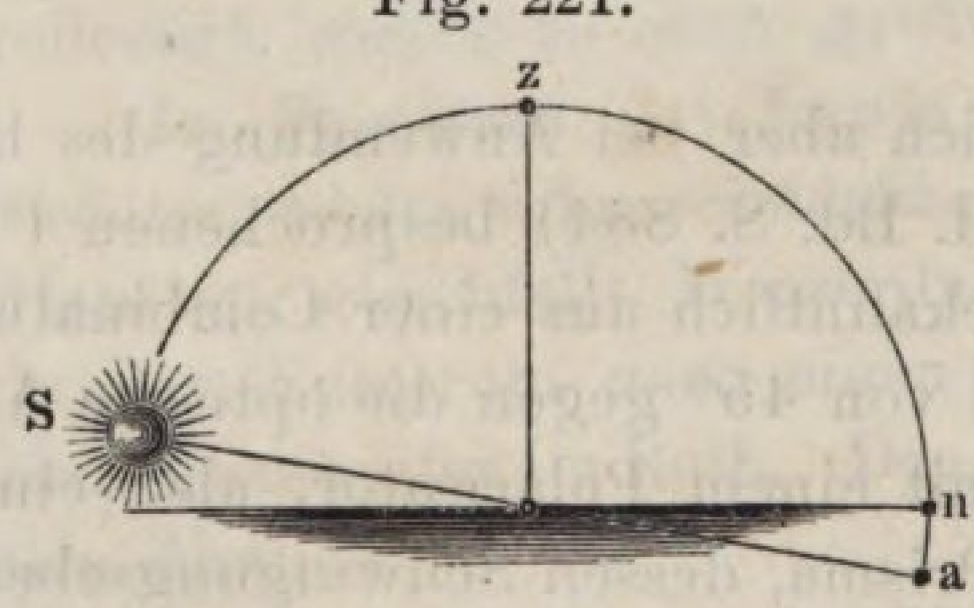
des blauen Himmels zu richten, um die fraglichen Farbenstreifen zu sehen, deren Intensität zu- oder abnimmt, wenn man das Rohr bei unveränderter Richtung um seine Axe dreht. Hat man nun das Rohr so gedreht, dass bei schwarzem Mittelstreifen (vorausgesetzt, dass die beiden Quarzplatten *s* und *t* genau gleich dick sind) die Curven möglichst kräftig erscheinen, so steht die Schwingungsebene des Nicols rechtwinklig auf der Schwingungsrichtung der vom beobachteten Punkte des Himmels kommenden Strahlen. Dreht man von dieser Stellung aus das Rohr *rr* um seine Axe, so werden die Streifen blasser und verschwinden, wenn man um 45° gedreht hat. Dreht man noch weiter, so erscheinen die Streifen wieder, ihre Farben sind aber complementär zu den zuerst beobachteten, und diese complementären Streifen mit Weiss in der Mitte erreichen ihre grösste Lichtstärke, wenn die Schwingungsebene des Nicols parallel ist mit der Schwingungsebene der einfallenden Strahlen.

Wenn man nun mit diesem Instrumente das Licht solcher Punkte des blauen Himmels untersucht, welche nicht zu nahe am Horizonte liegen, so findet man, dass die Schwingungen des Lichtes, welches sie uns zusenden, rechtwinklig sind zu der Ebene, welche man sich durch den betrachteten Punkt des Himmels durch das Auge des Beobachters und die Sonne zerlegt denken kann, wie sich dies nach den Gesetzen der Polarisation nicht anders erwarten liess. Wir wollen diese Lage der Schwingungsebene als positive Polarisation bezeichnen.

Untersucht man zur Zeit des Sonnenunterganges das Licht des Himmels in der durch die Sonne und das Zenith gelegten Verticalebene, so findet man, dass die Polarisation in der Nähe der Sonne äusserst schwach ist, dass sie aber mit der Entfernung von der Sonne stärker wird und in einem Abstande von 90° von der Sonne ihr Maximum erreicht, um jenseits dieses Punktes wieder bis zu einem von Arago aufgefundenen neutralen Punkte abzunehmen, der übrigens nicht mit dem der Sonne diametral gegenüberliegenden antisolaren Punkte zusammenfällt, sondern nach Arago's Bestimmungen 20 bis 30° über demselben liegt.

Nach Brewster's Beobachtungen ändert sich die Entfernung des Arago'schen neutralen Punktes von dem antisolaren mit dem Stande der Sonne. Wenn die Sonne noch $11\frac{1}{2}^0$ über dem Horizonte steht, der antisolare Punkt *a*, Fig. 221, also $11\frac{1}{2}^0$ unter dem Horizonte liegt, so liegt der neutrale Punkt gerade im Horizonte. Wenn die Sonne eben untergeht, so beträgt der Abstand zwischen dem antisolaren Punkte *a*, Fig. 222, und dem neutralen *n* $18\frac{1}{2}^0$; gegen Ende der Dämmerung, wenn also die Sonne unter den Horizont gesunken ist, beträgt der Abstand zwischen den Punkten *a* und *n*, Fig. 223, 25 Grad.

Fig. 221.



Während die Polarisation der Strahlen vom Zenith bis zum neutralen Punkt eine positive ist, d. h. während die Schwingungsebene der entsprechenden Strahlen eine horizontale ist, ist die Polarisation der Strahlen, welche von Punkten zwischen *n* und dem Horizonte kommen, eine negative, d. h. die Schwingungsebene dieser Strahlen ist vertical.

In der durch die Sonne gelegten Verticalebene hat Babinet einen zweiten neutralen Punkt *b* aufgefunden, welcher ungefähr eben so hoch über der Sonne steht, wie *n* über *a*, einen dritten eben so tief unter der Sonne stehenden, aber sehr schwer zu beobachtenden, neutralen Punkt hat endlich Brewster aufgefunden.

Fig. 222.

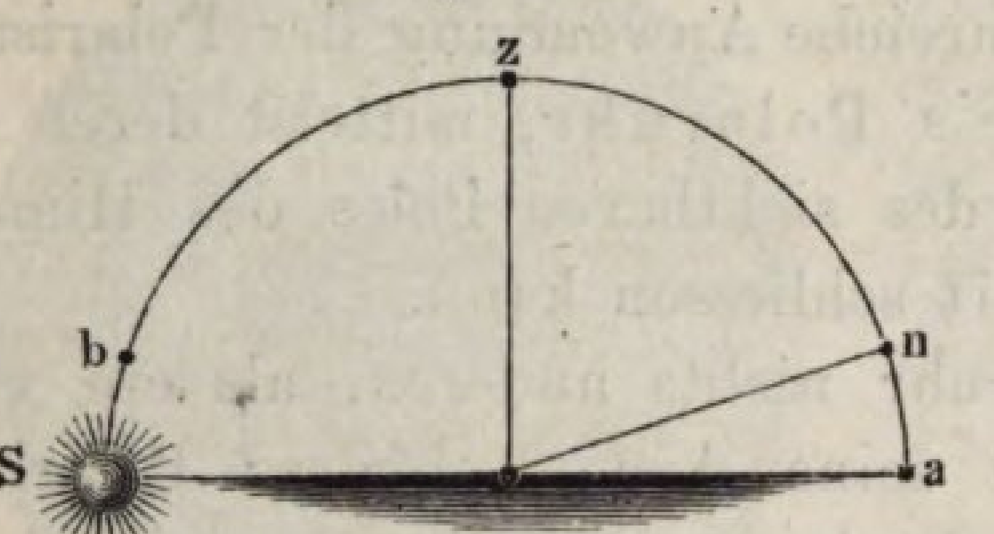
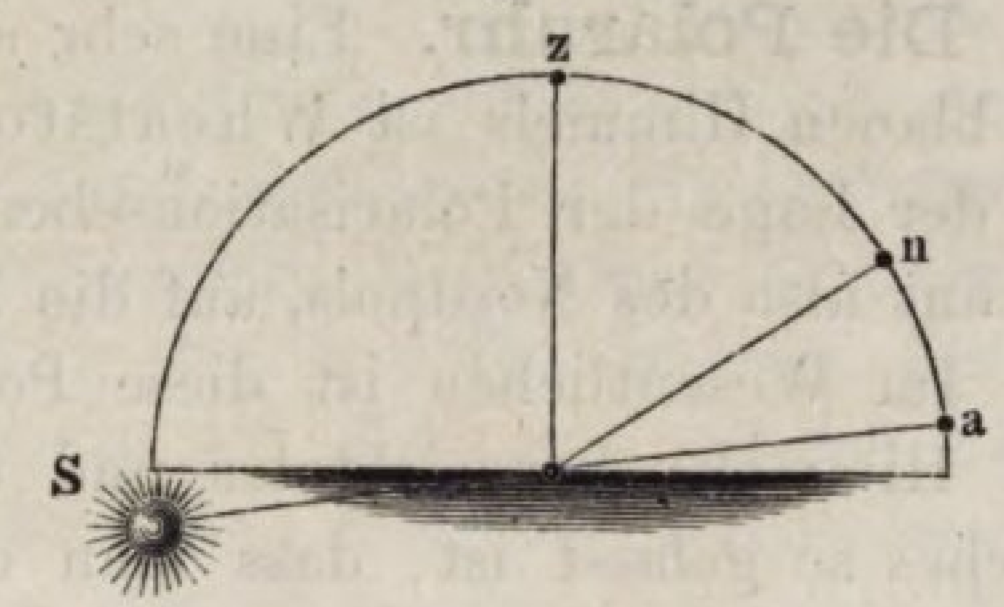


Fig. 223.



Die Existenz der neutralen Punkte sowohl, wie auch die negative Polarisation des Himmels in der Nähe des Horizontes (Zusammenfallen der Schwingungsebene der Strahlen mit der Ebene, welche man durch die Sonne, das Auge und den tiefliegenden Punkt des Himmels zerlegt denken kann, von dem die Strahlen kommen) erklärt sich durch die secundären Reflexionen, welche das Licht in der Atmosphäre erleidet. Das Licht, welches uns irgend ein Punkt des Himmels zusendet, ist zum Theil direct reflectirtes Sonnenlicht, und dieses ist stets positiv polarisirt (Schwingungsebene rechtwinklig zu der durch die Sonne, das Auge und den beobachteten Punkt gelegten Ebene), zum Theil aber auch Licht, welches bereits von anderen Punkten des Himmels reflectirt worden ist und hier eine abermalige Reflexion erleidet. Die wiederholt in der Atmosphäre reflectirten Strahlen werden aber zum Theil negative Polarisation zeigen. Für höhere Punkte des Himmels herrscht die positive, für solche, welche dem Horizonte näher liegen, herrscht die negative Polarisation vor.

Es versteht sich von selbst, dass alles oben Gesagte nur vom unbewölkten Himmel gilt. Wolken zeigen keine Polarisation, und bedeutende Wolkenmassen stören auch den Polarisationszustand des übrigen Himmels.

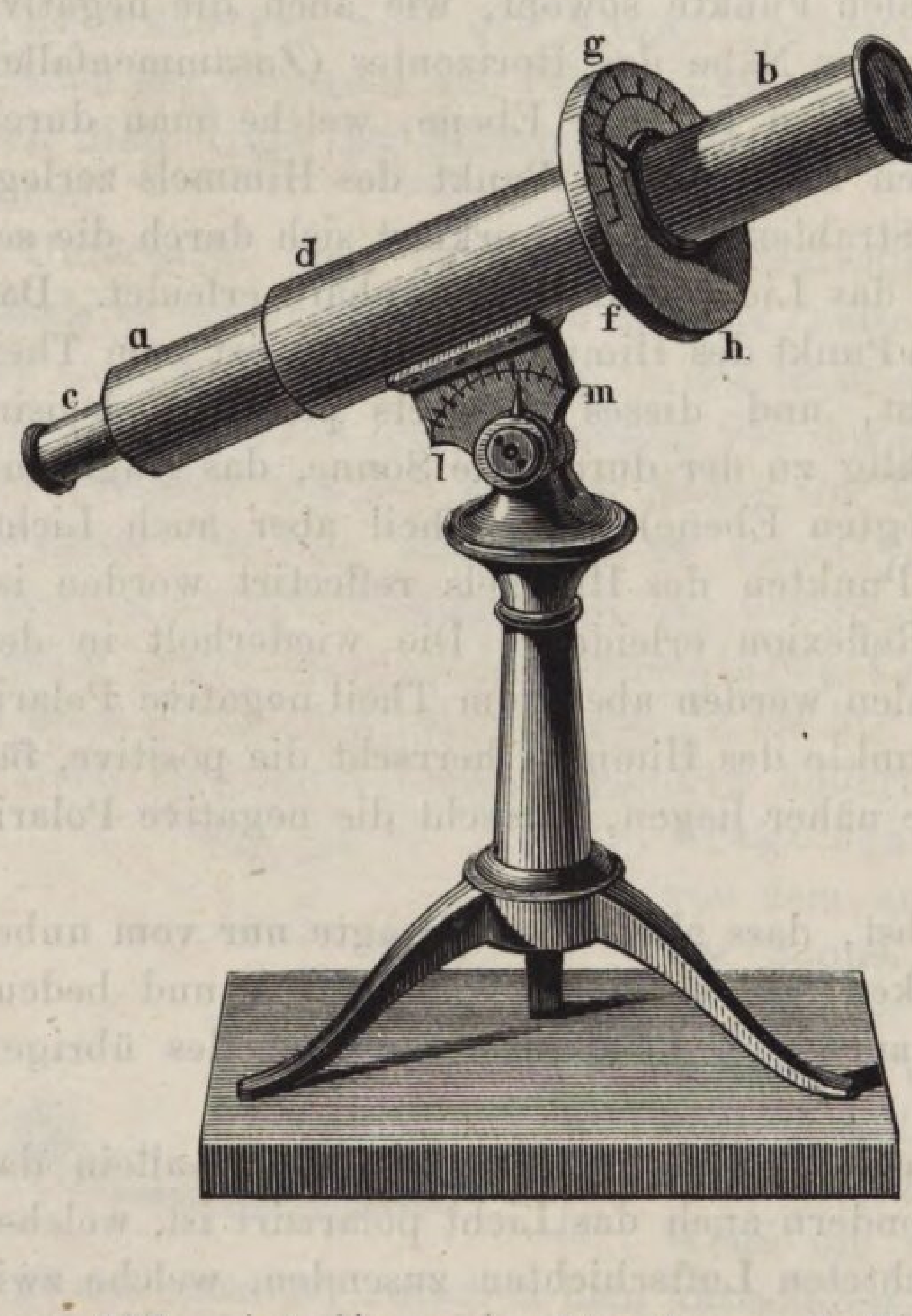
Hagenbach hat die Beobachtung gemacht, dass nicht allein das Licht des blauen Himmels, sondern auch das Licht polarisirt ist, welches uns die von der Sonne erleuchteten Luftschichten zusenden, welche zwischen uns und entfernten Gebirgszügen liegen. Diese Polarisation zeigt sich immer sehr deutlich, wenn der Hintergrund dunkel und die zwischenliegende Luftschicht nicht zu klein ist. Wenn das entfernte Gebirge

durch die Wirkung des reflectirten Lichtes der zwischenliegenden Luftschichten undeutlich geworden ist, so lassen sie sich mit Hülfe eines passend gestellten Nicol'schen Prismas, welches einen Theil der von der Luftschicht reflectirten Strahlen wegnimmt, viel deutlicher sichtbar machen. Diese Wirkung des Nicols zeigt sich ebenso gut, man mag nun mit blossem Auge oder durch ein Fernrohr beobachten. Von dem Chrischonaberg (auf dem rechten Rheinufer bei Basel) aus konnte Hagenbach an einem schönen Tage die Berner Alpen kaum wahrnehmen, sie wurden aber deutlich und scharf sichtbar, als er ein Nicol vor das Ocular des Fernröhrchens brachte.

147 **Die Polaruhr.** Eine sehr sinnreiche Anwendung der Polarisation des blauen Himmels ist Wheatstone's Polaruhr, mittelst deren man aus der Lage der Polarisationsebene des sichtbaren Poles des Himmels, bei uns also des Nordpols, auf die Zeit schliessen kann.

Im Wesentlichen ist diese Polaruhr nichts anderes, als ein gegen den Himmelspol gerichtetes und um seine Axe drehbares Polariskop, welches so gefasst ist, dass man die Drehung desselben an einem entsprechend getheilten Kreise ablesen kann. In Ermangelung eines besseren Modells mag Figur 224 dazu dienen, die Einrichtung der Polaruhr zu erläutern; *ab* ist das Rohr des Polariskops, an welchem bei *c* das Ocularnicol undrehbar gegen *ab* befestigt ist. Das Rohr *ab* steckt in der Hülse *d* und kann in derselben frei um seine Axe gedreht werden. Die auf einem passenden Stativ befestigte Hülse *d* trägt einen getheilten Kreis, über dessen Theilung sich ein am Rohre *ab* befestigter Zeiger hinbewegt, wenn das Rohr *ab* gedreht wird. Figur 225 zeigt diesen in Stunden und Viertelstunden getheilten Kreis mit dem fraglichen Zeiger in doppeltem Maasstab der Fig. 224.

Fig. 224.

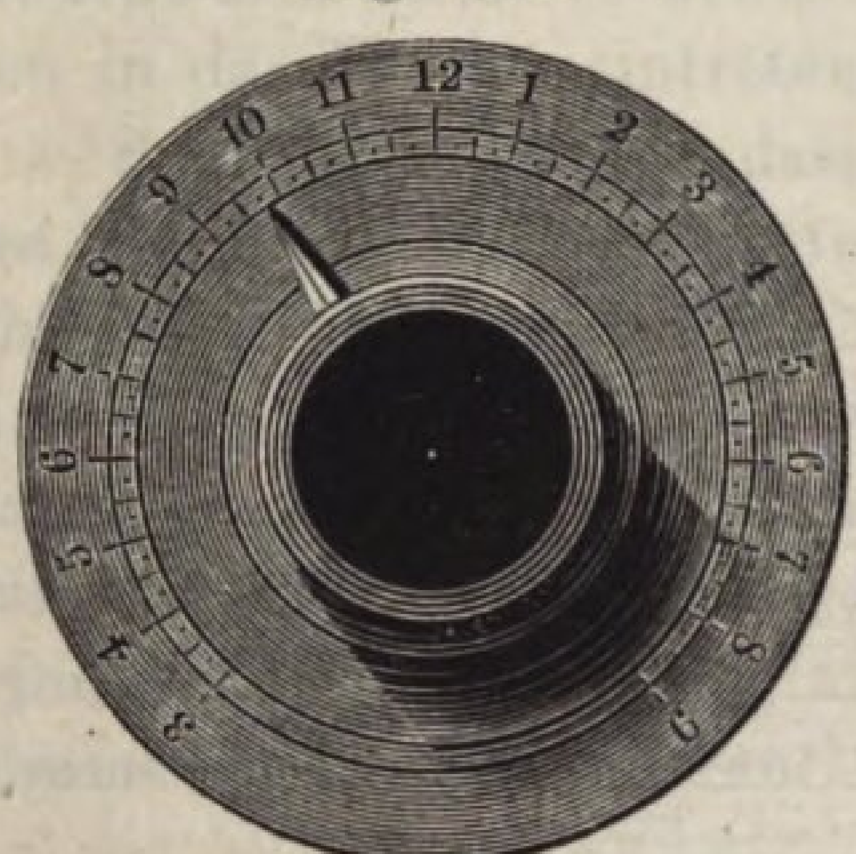


Die Polarisation des Nordpols des Himmels ist stets positiv, d. h.

die Schwingungsebene der Strahlen, welche uns der Nordpol des Himmels zusendet, ist rechtwinklig zu dem jeweiligen Stundenkreise der Sonne. Wenn also der Zeiger so an dem Rohre *ab* befestigt ist, dass er in die Schwingungsebene des Ocularnicols fällt, so werden die Farbenstreifen des Savart'schen Polariskops mit schwarzem Mittelstreifen möglichst brillant erscheinen, wenn das Rohr *ab* so gedreht ist, dass der Zeiger in die Ebene des Stundenkreises der Sonne zu liegen kommt.

Morgens um 6 Uhr muss demnach der Zeiger eine horizontale, Mittags um 12 Uhr muss er eine verticale Stellung haben. Die beiden Theilstriche, welche in die durch den Mittelpunkt der Theilung gelegte Horizontale fallen, sind mit 6 bezeichnet; von demjenigen dieser beiden Punkte, welcher bei richtiger Aufstellung des Instrumentes auf der Ostseite liegt, sind die Stunden von 6 weiter gezählt bis zum obersten Theilstrich der Theilung, welcher mit 12 bezeichnet ist; auf dem folgenden Quadranten von 12 bis zum westlichen 6 sind dann die Nachmittagsstunden 1, 2, 3 etc. aufgetragen.

Fig. 225.



Da aber die Sonne im Sommer vor 6 Uhr Morgens auf- und erst nach 6 Uhr Abends untergeht, und da man den Polarisationszustand des Nordpols des Himmels schon in der Morgen- und Abenddämmerung beobachten kann, ehe noch die Sonne selbst über dem Horizont steht, so beginnt die Theilung auf der Ostseite des Kreises auch schon um einige Stunden vor 6 Uhr Morgens und ist bis auf einige Stunden nach 6 Uhr Abends fortgesetzt.

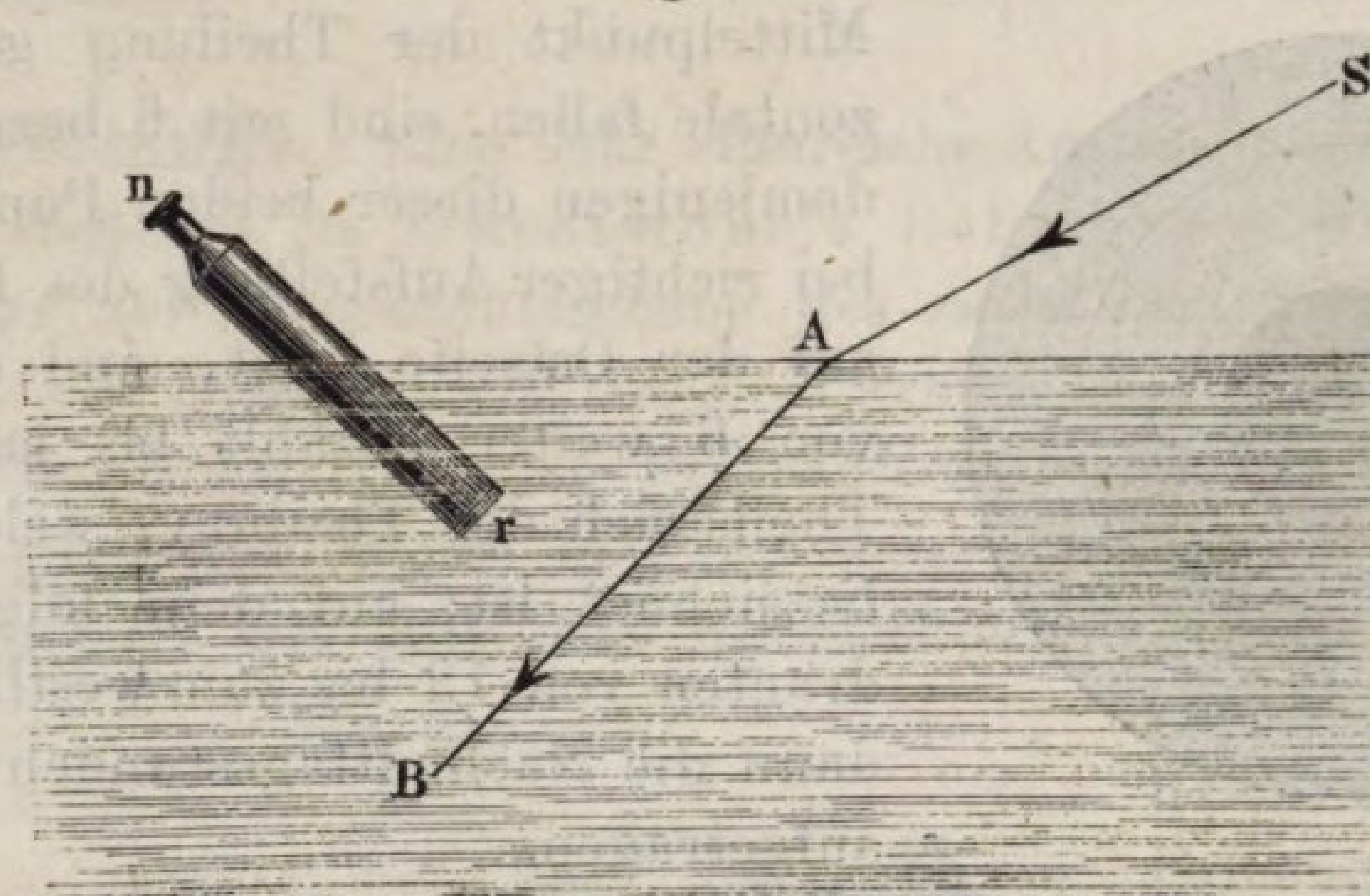
Die Neigung des Rohres *ab* gegen die Horizontale lässt sich beliebig ändern, und die Grösse dieser Neigung lässt sich auf dem Gradbogen *lm* ablesen.

Das Instrument wird nun so aufgestellt, dass die Verticalebene des Rohres in den Meridian des Beobachtungsortes fällt, und dann das Rohr so geneigt, dass der Winkel, welchen es mit der Horizontalen macht, gleich ist der Polhöhe des Beobachtungsortes; kurz, man stellt es so auf, dass das Rohr *ab* gerade gegen den Nordpol des Himmels gerichtet ist. Nun wird das Rohr *ab* um seine Axe innerhalb der Hülse *df* umgedreht, bis die Streifen möglichst scharf erscheinen, und dann die entsprechende von dem Zeiger angedeutete Zeit auf dem getheilten Kreise abgelesen.

Polarisation des blauen Wassers. Soret hat die interessante Beobachtung gemacht, dass auch das Licht des von der Sonne erleuchteten blauen Wassers der Seeen polarisirt ist. Der Apparat, dessen er sich bediente, um diese Thatsache zu constatiren, war ein Rohr *nr*, Fig. 226, dessen Objectivende durch eine wasserdicht eingesetzte Platte 148

von Spiegelglas geschlossen war, während ein Nicol'sches Prisma *n* das Ocularende der Röhre bildete. Taucht man nun an einer Stelle, an welcher das Wasser so tief ist, dass man den Grund nicht mehr sehen kann, das Objectivende des Rohres in das Wasser, wie Fig. 226 zeigt, so kann man die Polarisation des durch die Sonnenstrahlen erleuchteten Wassers beobachten, wenn man, in das Rohr hineinschauend, das Nicol um seine Axe dreht. Soret hat seine Versuche im Genfersee angestellt, dessen Wasser bekanntlich durch eine wunderbar schöne blaue Farbe ausgezeichnet ist.

Fig. 226.



Wenn bei ruhigem Wetter die Oberfläche des Wassers möglichst eben ist, so werden die parallel mit SA, Fig. 226, einfallenden Sonnenstrahlen auch parallel mit AB in das Wasser eindringen. Man beobachtet nun ein Maximum von Polarisation, wenn das Rohr nr rechtwinklig steht zu der Richtung AB der in das Wasser eingedrungenen Sonnenstrahlen, also am einfachsten, wenn bei entsprechender Neigung des Rohres die durch seine Axe gelegte Verticalebene mit der Verticalebene der Sonne zusammenfällt.

Die Polarisationsebene der unter diesen Umständen in das Rohr nr eindringenden Lichtstrahlen fällt mit dieser Verticalebene zusammen, die Vibrationen, welche diese Strahlen fortpflanzen, gehen also in horizontaler Richtung, rechtwinklig zu der bezeichneten Verticalebene vor sich.

Je mehr die Oberfläche des Wassers bewegt ist, desto unvollständiger wird die Polarisation, weil nun die Sonnenstrahlen nicht mehr parallel unter sich, sondern nach den verschiedensten Richtungen in das Wasser eindringen. Wenn die Sonne nicht scheint, ist auch keine merkliche Polarisation wahrzunehmen, weil in diesem Falle das Wasser von verschiedenen Seiten her nahezu gleich stark erleuchtet ist. Auch beim hellsten Sonnenschein ist die Polarisation des Wassers doch nur eine partielle, weil die directen Sonnenstrahlen nicht die einzige Erleuchtungsquelle bilden.

Hagenbach fand durch Versuche, welche er im Luzerner See anstellte, die Beobachtungen Soret's vollkommen bestätigt. Nachdem er das Rohr in die dem Maximum der Polarisation entsprechende Lage, Fig. 226, gebracht und seine Stellung gegen den Kahn fixirt hatte, liess er den Kahn langsam eine Drehung um seine verticale Mittellinie machen. Dabei nahm die Stärke der Polarisation allmälig ab und verschwand endlich ganz, nachdem die Drehung bis auf 180° gewachsen war.

Die eben besprochene Polarisation rührt jedenfalls von einer Reflexion des Lichtes im Inneren des Wassers her, und überwiegt bedeutend die schwache zu ihr rechtwinklige Polarisation, welche durch die Brechung den in das Wasser eintretenden Strahlen ertheilt wird.

Soret nimmt an, dass sowohl die Farbe als auch die Polarisation des aus dem Wasser austretenden Lichtes von der Reflexion an der Oberfläche kleiner, im Wasser suspendirter Partikelchen herrühre, während Hagenbach annimmt, dass sie wenigstens zum Theil durch einfache Reflexion an der Gränze ungleich erwärmter Wasserschichten bedingt sein könne. Durch Reflexion an der Gränze ungleich erwärmter Luftschichten liesse sich dann auch das blaue Licht und die Polarisation des Himmelsgewölbes erklären.

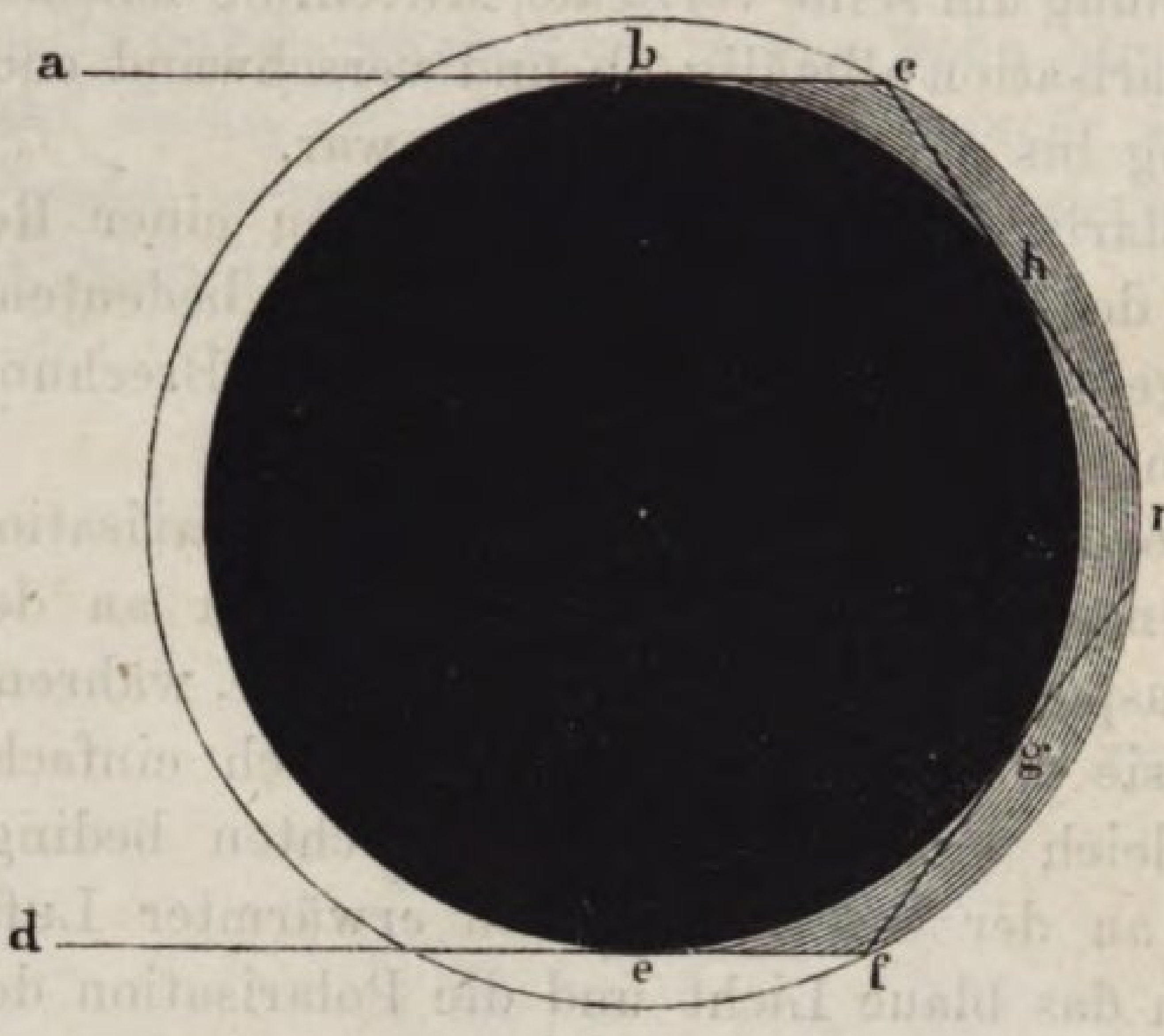
Die Dämmerung. Wenn die Luft absolut durchsichtig wäre, so 149
müsste gleich nach Sonnenuntergang eine vollständige Finsterniss eintreten; allein vor Sonnenaufgang sowohl als auch nach Sonnenuntergang wird über die Erdoberfläche eine namhafte Zeit hindurch eine ziemliche Helligkeit verbreitet, welche lediglich von einer Reflexion und Diffusion des Lichtes in der Atmosphäre herrührt.

Man rechnet gewöhnlich die Dauer der Abenddämmerung von Sonnenuntergang bis zu der Zeit, zu welcher man aus Mangel an Helligkeit die Arbeiten im Freien einstellen muss, oder bis zu dem Zeitpunkte, in welchem man in einem ziemlich freiliegenden Hause die Kerzen anzuzünden pflegt. Es ist dies der Fall, wenn die Sonne ungefähr bis zu 6° unter den Horizont hinabgesunken ist. Die astronomische Dämmerung dauert aber länger als die eben definirte bürgerliche; sie dauert nämlich bis zu der Zeit, in welcher der letzte Schein der Helligkeit am westlichen Himmel verschwindet, und dies ist so ziemlich der Fall, wenn die Sonne bis zu 18° unter den Horizont hinabgesunken ist.

Fig. 227 (a. f. S.) stelle einen centralen Durchschnitt der Erde und ihrer Atmosphäre dar; *ac* und *df* seien Sonnenstrahlen, welche den festen Erdkern in zwei diametral einander gegenüberstehenden Punkten berühren, so ist klar, dass *bcrfe* derjenige Theil der Atmosphäre ist, welcher nicht von den Sonnenstrahlen getroffen wird. Denken wir uns von den äussersten noch von der Sonne erleuchteten Punkten *c* und *f* der Atmosphäre die Tangenten *ch* und *fg* an die Erdkugel gezogen, so sind *g* und *h* diejenigen Punkte, bis zu welchen sich die astronomische Dämmerung erstreckt; denn für alle Punkte der Erdoberfläche zwischen *b*

und *h* sowohl, wie zwischen *e* und *g*, befindet sich noch ein Theil der von den Sonnenstrahlen erleuchteten Atmosphäre über dem Horizont. In unserer Figur ist nun die Atmosphäre im Verhältniss zum Durchmesser der Erde viel zu hoch angenommen worden, und deshalb ist nun auch der Dämmerungsbogen *bh* in der Zeichnung viel grösser ausgefallen, als er in der Wirklichkeit ist; denn in der That beträgt, wie wir oben gesehen haben, die Grösse dieses Bogens nur ungefähr 18^0.

Fig. 227.



Die Gränze zwischen dem noch durch Sonnenstrahlen direct erleuchteten und dem im Schatten befindlichen Theile der Atmosphäre ist natürlich eben so wenig genau bestimmbar, wie die obere Gränze der Atmosphäre überhaupt; doch lässt sich aus dem mittleren Werthe des Dämmerungsbogens wenigstens annähernd die Höhe der Atmosphäre bestimmen; aus einem Dämmerungsbogen von 18^0 ergiebt sich nämlich für die Atmosphäre eine Höhe von ungefähr 9 geographischen Meilen; über diese Höhe hinaus ist wenigstens die Atmosphäre schon in einem solchen Grade verdünnt, dass sie keine merkliche Reflexion des Lichtes mehr bewirken kann.

Die Dauer der Dämmerung ist für verschiedene Gegenden der Erde sehr ungleich; unter dem Aequator ist sie am kürzesten, sie wird um so länger, je mehr man sich den Polen nähert.

Die Fig. 228 dient, um diese Verhältnisse anschaulicher zu machen; sie stellt nämlich die Erdkugel in ihren Beleuchtungsverhältnissen zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche dar.

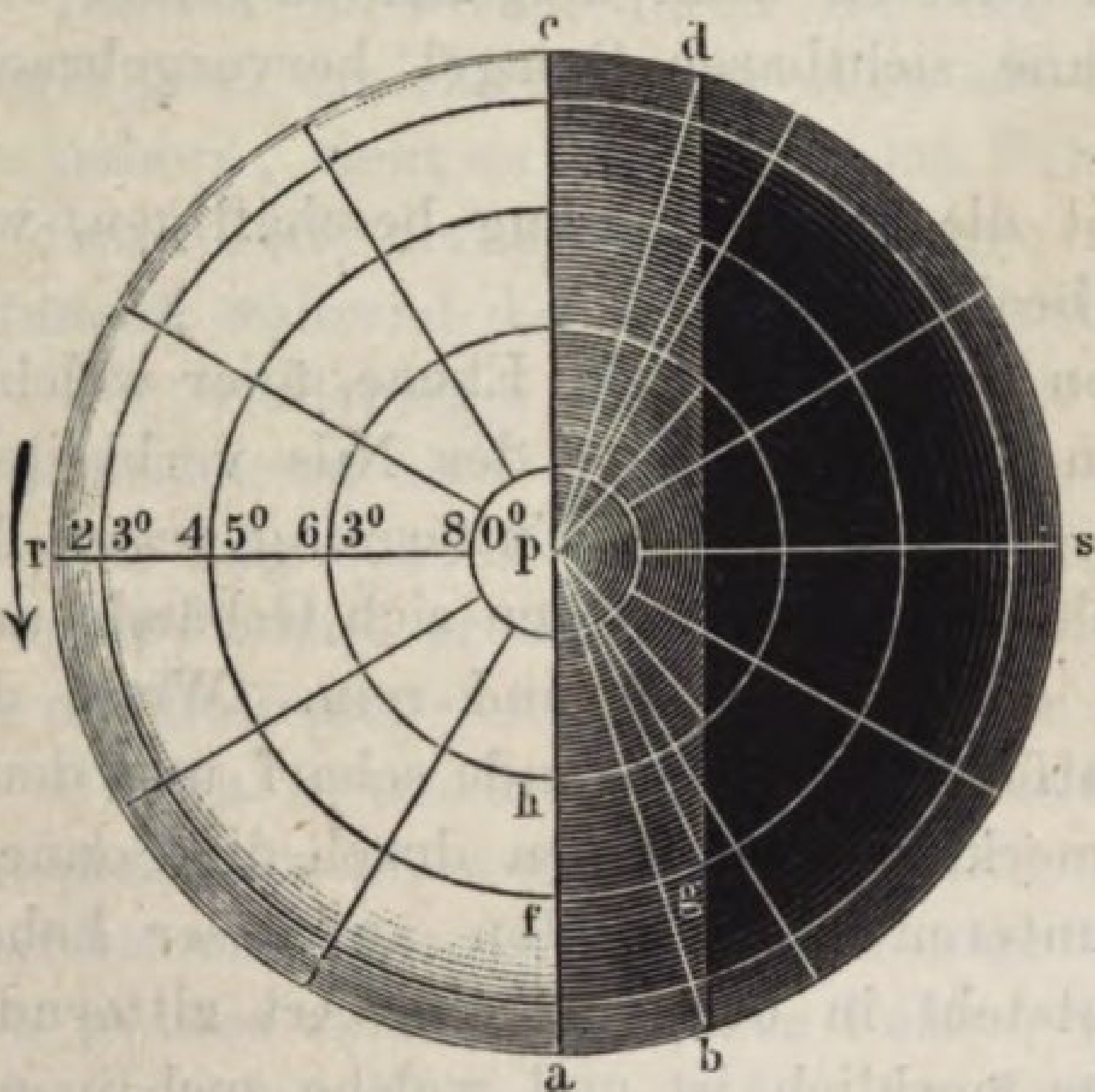
Der Kreis *csar* ist der Erdäquator, welcher mit der Ebene des Papiers zusammenfällt; *p* ist der Nordpol der Erde; die Erdaxe ist zum Punkte verkürzt. Die in unserer Figur gezogenen concentrischen Kreise stellen die Parallelkreise von 23^0, 45^0, 63^0 und 80^0 nördlicher Breite dar. Der zur Linie verkürzte grösste Kreis *cpa* ist derjenige, welcher die direct erleuchtete von der beschatteten Erdhälfte trennt (wobei der Einfluss der atmosphärischen Refraction unberücksichtigt geblieben ist). Macht man den Bogen *cd* gleich 18^0, zieht man *db* parallel mit *ca*, so ist der zur Linie verkürzte Kreis *db* derjenige, bis zu welchem sich die astronomische Dämmerung erstreckt; *cdba* ist der Dämmerungsgürtel.

Ein jeder Punkt der Erdoberfläche geht nun in Folge der Axendrehung der Erde in 24 Stunden zweimal durch diesen Dämmerungs-

gürtel hindurch, und es ist leicht einzusehen, dass die Dauer des Verweilens in demselben von der geographischen Breite des Ortes abhängig ist.

Für einen Punkt des Erdäquators dauert die astronomische Dämmerung so lange, als er braucht, den Bogen ab zu durchlaufen. Dieser Bogen beträgt aber 18°; folglich ist die entsprechende Zeitdauer 72′ oder 1 Stunde 12 Minuten.

Fig. 228.



Für einen Ort, welcher auf dem 45. Breitengrade liegt, dauert die astronomische Dämmerung so lange, als er braucht, um den Bogen fg zu durchlaufen, also nahezu 2 Stunden, da der Winkel fpg gleich 30° ist.

Auf dieselbe Weise ergiebt sich, dass für den 63. Breitengrad die Dauer der astronomischen Dämmerung ungefähr 3 Stunden beträgt.

Ein Ort auf dem 80. Breitengrade gelangt gar nicht mehr bis an die Nachtgränze des Dämmerungsgürtels; zur Zeit des Aequinoctiums beträgt also für ihn die Dauer der Dämmerung volle 12 Stunden.

Die Dauer der bürgerlichen Dämmerung beträgt ungefähr $^1/_3$ von der der astronomischen; die bürgerliche Dämmerung betrüge demnach zur Zeit des Aequinoctiums:

auf dem Aequator etwas über $^1/_3$ Stunde,
auf dem 45. Breitengrade ungefähr $^2/_3$ Stunde,
auf dem 63. Breitengrade ungefähr 1 Stunde,
auf dem 72. Breitengrade ungefähr 2 Stunden.

Der Unterschied in der Dämmerungsdauer für verschiedene Breiten ist aber in der That noch grösser, als er sich aus den eben durchgeführten Betrachtungen ergiebt, weil das Ende der Dämmerung nicht allein durch die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte, sondern auch durch den Zustand der Atmosphäre bedingt ist. Je durchsichtiger und reiner die Luft, desto kürzer ist die Dämmerung, während sie durch zarte in der Höhe schwebende Nebel verlängert wird. So ist denn für einen und denselben Ort die Dauer der Dämmerung sehr veränderlich. Diejenigen Gegenden, welche sich eines tief blauen Himmels erfreuen, werden eine verhältnissmässig kurze Dämmerung haben. In Chili dauert die Dämmerung nur $^1/_4$ Stunde, zu Cumana ist sie noch kürzer.

Wir haben oben die Dämmerungsverhältnisse für die Zeit der Aequi-

noctien betrachtet; im Sommer sowohl als im Winter wird, wie sich durch eine einfache geometrische Betrachtung nachweisen lässt, die Dämmerungsdauer für alle Breiten etwas grösser.

150 **Luftspiegelung.** Wenn man entfernte Gegenstände betrachtet, so sieht man bisweilen ausser den directen noch umgekehrte Bilder derselben. Diese Bilder, welche ohne sichtbaren Spiegel hervorgebracht werden, nennt man Luftbilder.

Wir wollen uns zunächst mit dieser Erscheinung beschäftigen, wie sie in den Ebenen von Aegypten beobachtet wird.

Der Boden von Niederägypten bildet eine weite Ebene, über welcher sich zur Zeit der Ueberschwemmung die Gewässer des Nils verbreiten. An den Ufern des Flusses und bis auf eine grosse Entfernung gegen die Wüste hin sieht man kleine Erhöhungen, auf welchen sich Gebäude und Dörfer erheben. Gewöhnlich ist die Luft ruhig und rein. Wenn die Sonne aufgeht, erscheinen alle entfernten Gegenstände scharf und deutlich; sobald aber die Tageshitze merklich, der Boden durch die Sonnenstrahlen erhitzt wird und die unteren Luftschichten an dieser hohen Temperatur Theil nehmen, so entsteht in der Luft eine Art zitternder Bewegung, welche dem Auge sehr merklich ist und welche auch in unseren Gegenden an heissen Sommertagen beobachtet wird. Wenn nun kein Wind geht und die Luftschichten, welche auf dem Boden ruhen, unbeweglich bleiben, während sie durch die Berührung mit dem Boden erhitzt werden, so entwickelt sich das Phänomen der Luftspiegelung in seiner ganzen Pracht. Der Beobachter, welcher nach der Ferne schaut, sieht noch das directe Bild aller Erhöhungen, der Dörfer, kurz aller hohen Gegenstände; unterhalb derselben sieht er aber ihr verkehrtes Bild, ohne den Boden sehen zu können, auf welchem sie sich erheben; alle diese Gegenstände erscheinen ihm also, als ob sie sich mitten in einem ungeheuren See befänden. Diese Erscheinung wurde während der französischen Expedition in Aegypten oft beobachtet, sie war für die Soldaten ein ganz neues Schauspiel und eine grausame Täuschung. Wenn sie aus der Ferne den Reflex des Himmels, das verkehrte Bild der Häuser und Palmbäume sahen, so konnten sie nicht zweifeln, dass alle diese Bilder durch die Oberfläche eines Sees gespiegelt seien. Ermüdet durch forcirte Märsche, durch die Sonnenhitze und eine mit Sand beladene Luft, liefen sie dem Ufer zu, aber dieses Ufer floh vor ihren Augen; es war die erhitzte Luft der Ebene, welche das Ansehen von Wasser hatte und welche das Spiegelbild des Himmels und aller erhabenen Gegenstände der Erde zeigte. Die Gelehrten, welche die Expedition begleiteten, waren ebenfalls, wie das ganze Heer, getäuscht; aber die Täuschung war von kurzer Dauer.

In dem englischen Reisewerke: „Scenes in Ethiopia drawn and described by J. M. Bernatz, London 1852“, finden sich ausgezeichnete bildliche Darstellungen dieses merkwürdigen Phänomens, welches auch im

südlichen Theil von Abessinien häufig gesehen wird. Tab. XV. ist die Copie eines solchen Luftspiegels, welchen Bernatz im Thal Dullul beobachtete. Das ganze 3 bis 4 englische Meilen breite und 18 Meilen lange Thal erschien wie mit einem herrlichen See bedeckt, aus dessen Mitte eine Felseninsel hervorragte.

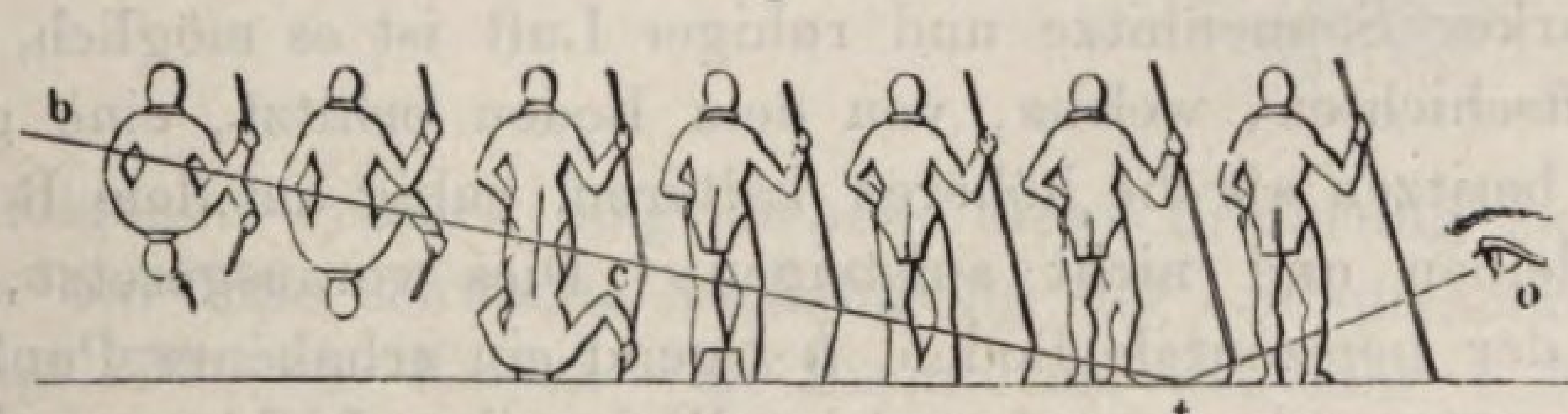
Karavanen, welche durch das Thal dahinziehen, sind durch den Luftspiegel ganz unsichtbar, und wenn sie sich dem Rande des scheinbaren Sees nähern, sieht es aus, als ob sie förmlich im Wasser wateten, indem der obere Theil der Körper der Thiere und Menschen über den Spiegel auftaucht, während der untere Theil noch unsichtbar bleibt.

Der Luftspiegel verschwand, wie Bernatz berichtet, wenn ein Wolkenschatten über denselben hinzog, und das ganze Thal sammt allen dasselbe umgebenden Bergen erschienen alsdann in ihrem natürlichen Zustande; sobald er aber vorüber war und die Sonne wieder schien, zeigte sich die Luftspiegelung wieder in voller Klarheit.

Bernatz machte ferner die interessante Beobachtung, dass der Luftspiegel steigt, wenn der Beobachter auf den Bergen, welche das Thal einschliessen, hinaufsteigend sich mehr und mehr über die Thalsohle erhebt, so dass endlich der ganze Felsen, welchen wir in der Mitte unseres Bildes sehen, vollkommen unter den Luftspiegel untertaucht und für das Auge verschwindet.

Biot und Mathieu haben bei Dünkirchen am Ufer des Meeres auf einer sandigen Ebene, welche sich bis zum Fort Risban erstreckt, ähnliche Erscheinungen beobachtet, und Biot hat eine vollständige Erklärung derselben gegeben. Er hat gezeigt, dass unter gewissen Umständen von einem Punkte t, Fig. 229, aus, welcher sich in einiger Entfernung von dem Beobachter befindet, man sich eine Linie tcb gezogen denken

Fig. 229.



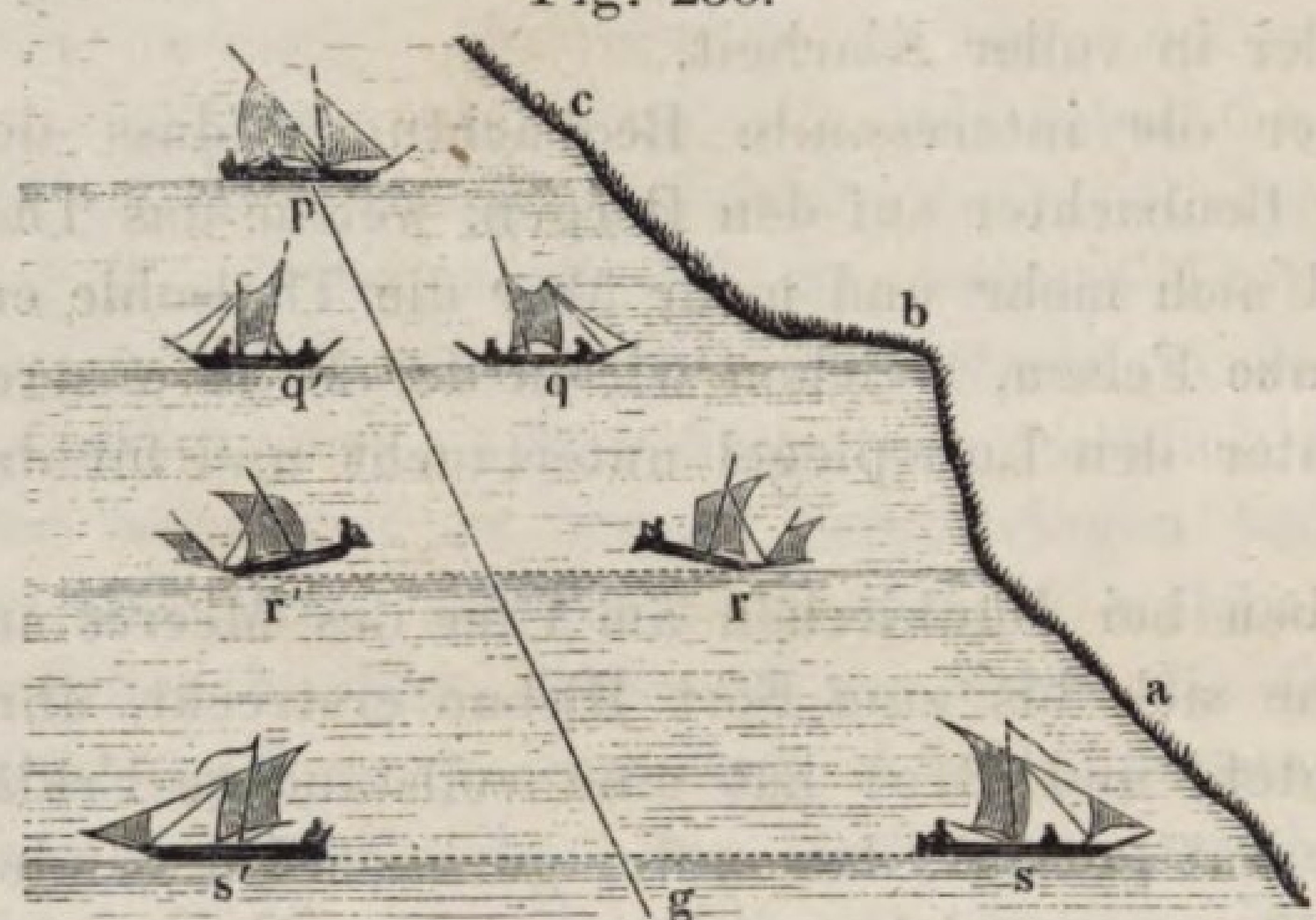
kann, so dass alle Gegenstände, welche sich unter derselben befinden, unsichtbar bleiben, während man von den Gegenständen, welche sich bis zu einer gewissen Höhe über derselben befinden, zwei Bilder sieht, ein directes über und ein verkehrtes unter dieser Linie. Ein Mensch also, welcher sich allmälig von dem Beobachter entfernt, wird der Reihe nach die verschiedenen in Fig. 229 dargestellten Erscheinungen geben.

Offenbar gehört hierher auch eine Erscheinung, welche man manchmal an Orten beobachtet, für welche der westliche Horizont frei ist und welche darin besteht, dass man die untergehende Sonne doppelt sieht, d. h. dass man zwei in verticaler Richtung etwas abgeplattete Bilder der Sonne sieht, von welchen das eine gerade unter dem anderen liegt.

In allen bisher betrachteten Fällen waren die Bilder über oder unter dem Gegenstande selbst. Im September 1818 beobachteten Soret und Jurine auf dem Genfersee ein Luftbild, welches seitwärts vom Gegenstande lag; sie befanden sich am Ufer des Sees im zweiten Stocke von Jurine's Hause und sahen mit dem Fernrohre in der Richtung gp, Fig. 230, nach einem Schiffe, welches sich in einer Entfernung von zwei Meilen dem Vorgebirge Belle-Rive gegenüber befand und nach Genf segelte. Während das Schiff allmälig nach q, r und s kam, sahen sie ein deutliches Bild zur Seite in q', r', s', welches sich wie das Schiff selber näherte, während die Entfernung des Schiffes und seines Bildes grösser wurde. Wenn die Sonne die Segel beleuchtete, war das Bild so hell, dass man es mit blossen Augen sehen konnte.

Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dass die Luft über dem See am östlichen Ufer abc des Morgens noch einige Zeit im Schatten war, während sie weiter links schon durch die Sonne erwärmt wurde; so konnte die Trennungsfläche der warmen und kalten Luft bis zu einer geringen Höhe über dem Wasser vertical sein.

Fig. 230.



Folgendes ist die Erklärung, welche Monge von diesen Luftbildern gegeben und in den „Mémoires de l'Institut d'Egypte“ bekannt gemacht hat:

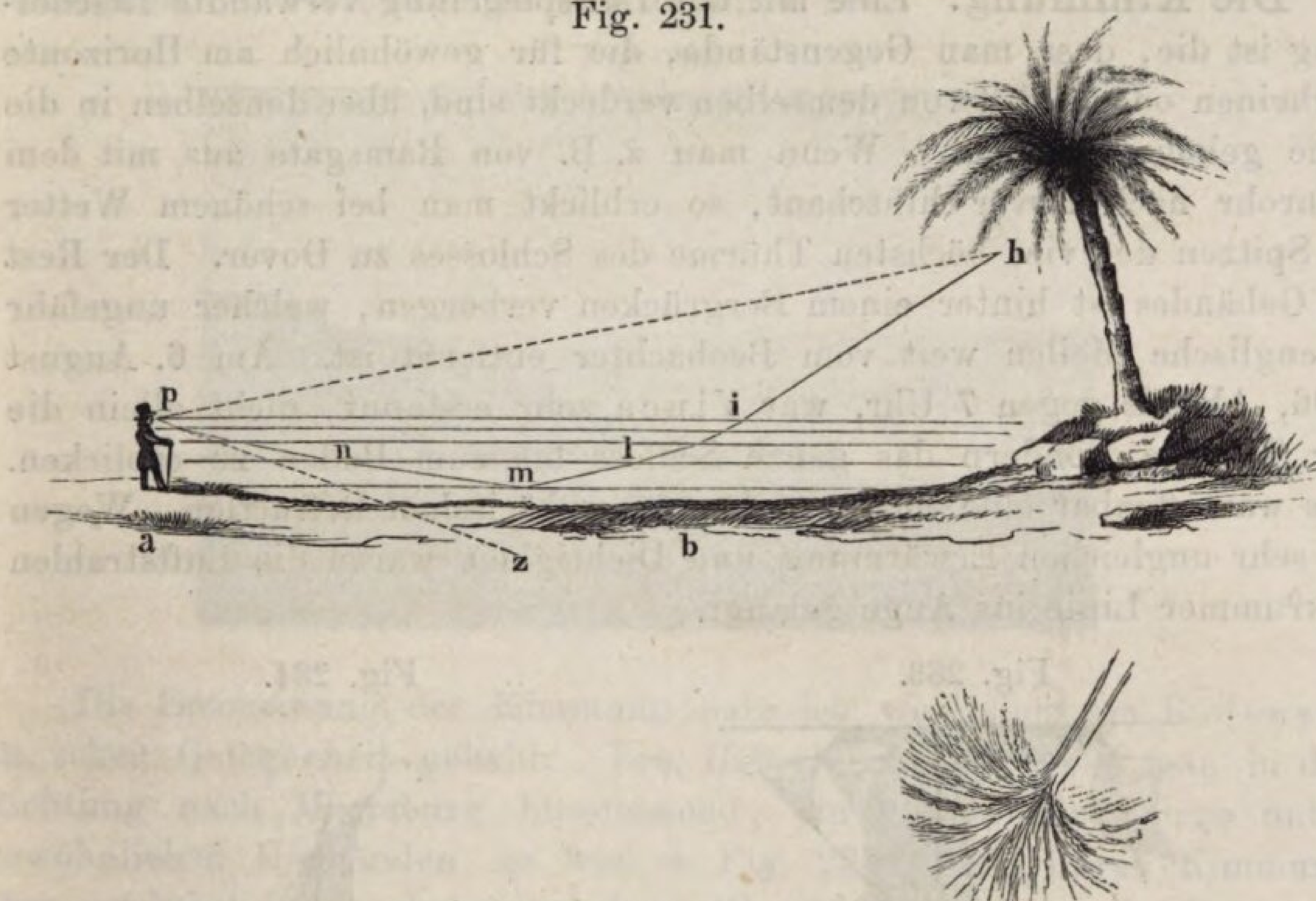
Bei starker Sonnenhitze und ruhiger Luft ist es möglich, dass die unteren Luftschichten, welche, von dem Boden erhitzt, eine geringere Dichtigkeit besitzen als die höheren kälteren, ruhig auf dem Boden ausgebreitet bleiben und nicht aufsteigen. Dies vorausgesetzt, sei ab, Figur 231, der horizontale Boden, h irgend ein erhabener Punkt. Wir wollen nun untersuchen, auf welche Weise das Licht von h in das Auge des in p befindlichen Beobachters gelangen kann. Zunächst ist klar, dass das Auge ein directes Bild des Punktes h in der Richtung ph sieht; die Strahlen werden zwar nicht in einer absolut geraden Linie von h nach p gelangen, weil die Luft nicht überall gleiche Dichtigkeit hat, sie werden aber doch nur eine unbedeutende Ablenkung erleiden, wodurch höchstens eine geringe Hebung oder Senkung des directen Bildes entstehen kann.

Unter den Strahlen, welche der Punkt h nach allen Richtungen aussendet, sind aber auch solche, welche den Weg $hilmnp$ verfolgen und welche also in der Richtung pz ins Auge gelangend ein verkehrtes Bild des Gegenstandes geben. In der That wird der Strahl hi, wenn er auf

eine weniger dichte Luftschicht trifft, so gebrochen werden, dass er sich vom Einfallslothe entfernt; ebenso wird er sich wieder vom Einfallslothe entfernen, wenn er auf die nächste, abermals weniger dichte Luftschicht trifft u. s. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer schräger, bis sie endlich aus der Schicht, in welcher sie sich befinden, nicht mehr in eine noch dünnere übergehen können; sie werden reflectirt und gelangen in der Richtung *mnp* in das Auge.

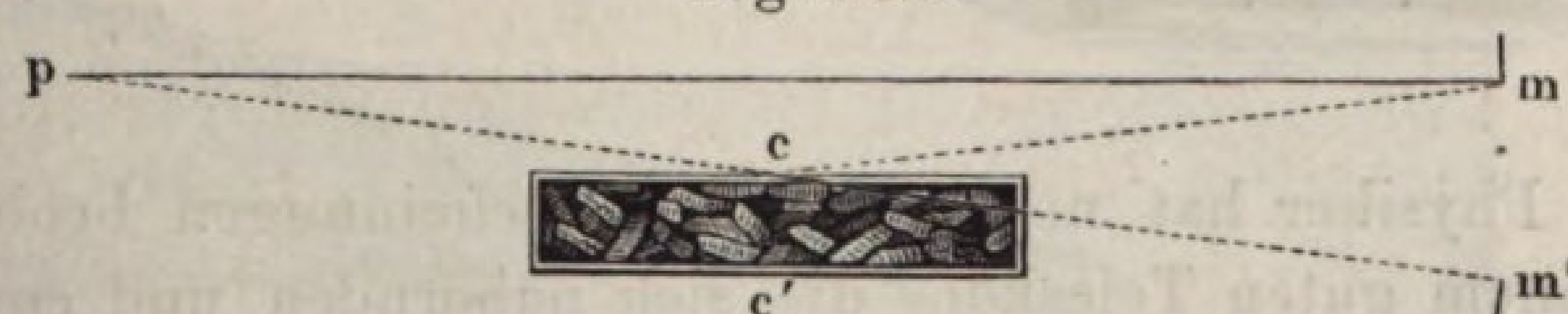
In unserer Figur ist der Weg der Strahlen als eine gebrochene Linie gezeichnet worden; da aber die Dichtigkeit der Luftschichten nach dem Boden hin allmälig abnimmt, so werden auch die Strahlen allmälig abgelenkt werden und eine krumme, nicht eine gebrochene Linie bilden.

Fig. 231.



Der folgende Versuch mag dienen, diese Erklärung zu erläutern, obgleich er nur eine schwache Nachahmung der Luftspiegelung ist. Es sei *cc'*, Fig. 232, ein Kasten von Eisenblech, ungefähr 1 Meter lang, 14 bis 18 Centimeter hoch und breit; er wird mit glühenden Kohlen

Fig. 232.



gefüllt und ungefähr in die Höhe des Auges gebracht. Wenn man nun oben über die obere Fläche des Kastens hinsieht, so erblickt man in der Richtung *pm* das directe, in der Richtung *pm'* aber das verkehrte Bild eines entfernten Visirpunktes *m*. An den Seitenwänden des Kastens kann man dieselbe Erscheinung beobachten.

Die gleiche Erscheinung beobachtete ich in den ersten Nachmittagsstunden an den horizontalen Sandsteinplatten, welche eine niedrige, breite Mauer deckten, als dieselben durch die Strahlen der Julisonne stark erhitzt worden waren.

Als Prof. R. Ball auf dem Decke eines Dampfschiffes in solcher Stellung den aufgehenden Mond beobachtete, dass die Gesichtslinie unter einem Winkel von 20 Minuten den Schornstein streifte, sah er plötzlich das Licht des Gestirns in solchem Glanz von der schwarzen Fläche reflectirt, dass es schwer hielt, nicht zu glauben, der Effect rühre von einem Spiegel her.

151 **Die Kimmung.** Eine mit der Luftspiegelung verwandte Erscheinung ist die, dass man Gegenstände, die für gewöhnlich am Horizonte erscheinen oder selbst von demselben verdeckt sind, über denselben in die Höhe gehoben erblickt. Wenn man z. B. von Ramsgate aus mit dem Fernrohr nach Dover hinschaut, so erblickt man bei schönem Wetter die Spitzen der vier höchsten Thürme des Schlosses zu Dover. Der Rest des Gebäudes ist hinter einem Bergrücken verborgen, welcher ungefähr 12 englische Meilen weit vom Beobachter entfernt ist. Am 6. August 1806, Abends gegen 7 Uhr, war Vince sehr erstaunt, nicht allein die vier Thürme, sondern das ganze Schloss bis zum Boden zu erblicken. Dies war offenbar eine Wirkung der atmosphärischen Refraction. Wegen der sehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Luftstrahlen in krummer Linie ins Auge gelangt.

Fig. 233.

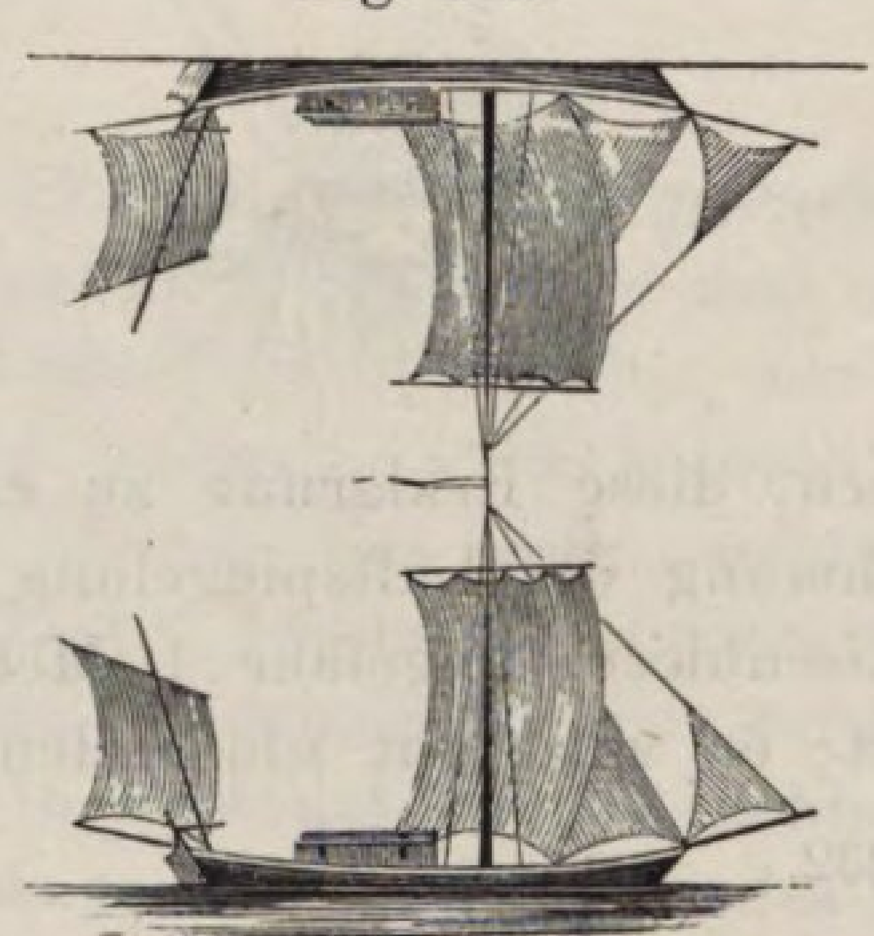
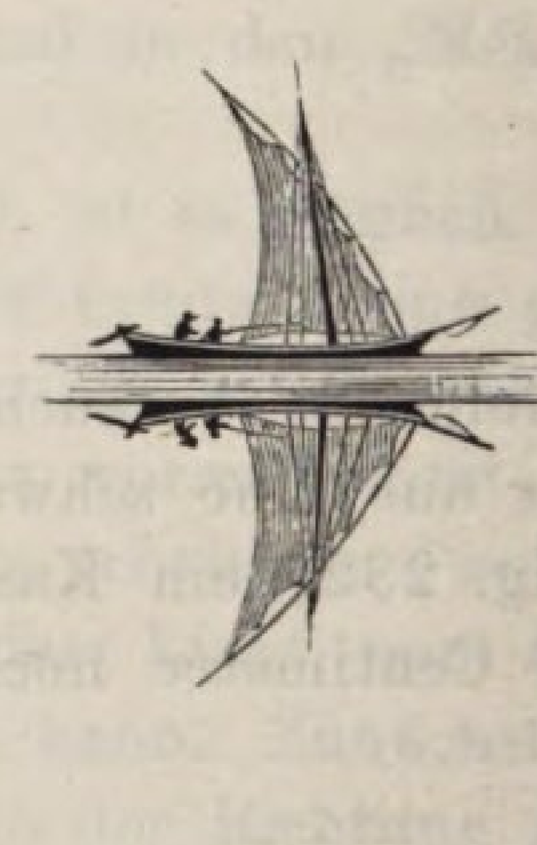


Fig. 234.

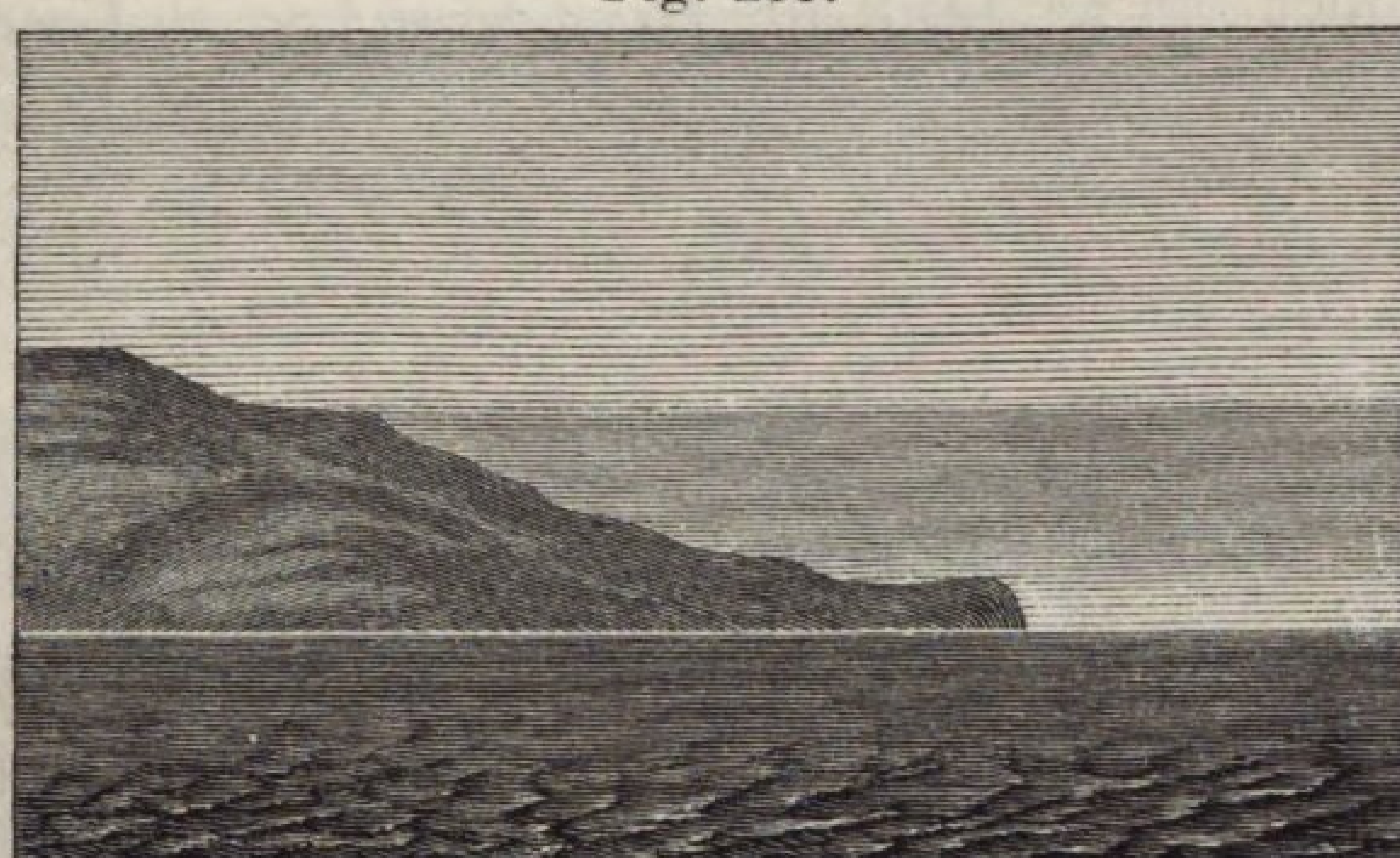


Derselbe Physiker hat noch ähnliche Erscheinungen beobachtet, indem er mit einem guten Teleskope die sich nähernden und entfernenden Schiffe betrachtete; so sah er z. B. eines Tages ein Schiff gerade am Horizonte; er konnte es ganz deutlich unterscheiden. Zu gleicher Zeit sah er aber auch gerade über demselben ein ganz regelmässiges, umgekehrtes Bild desselben, so dass die Spitzen der Masten des directen und des verkehrten Bildes zusammenstiessen, wie dies Fig. 233 dargestellt ist. Ein anderes Mal sah er von einem Schiffe, dessen Masten erst über dem Ho-

rizonte waren, zwei vollständige Bilder, Fig. 232, ein aufrechtes und ein verkehrtes.

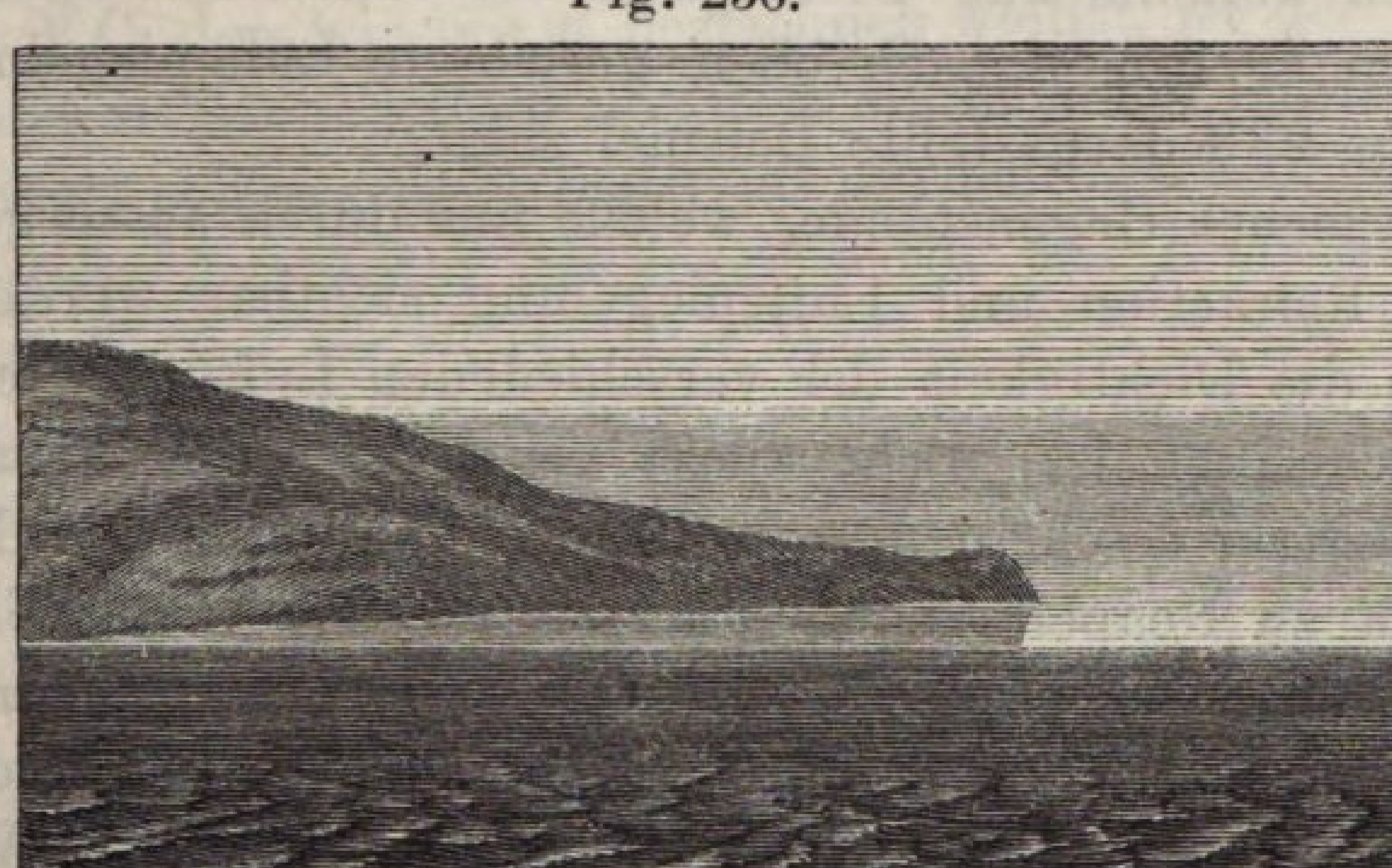
Solche Erscheinungen der ungewöhnlichen Brechung und Luftspiegelung, welche auf dem Meere öfter beobachtet werden, sind unter dem Namen der Erhebung, des Seegesichtes oder der Kimmung bekannt. Scoresby hatte in den grönländischen Meeren häufig Gelegenheit, sie wahrzunehmen. Bald sah er entfernte Schiffe in verticaler Richtung verlängert oder zusammengedrückt, bald sah er doppelte Bilder, ein aufrechtes und ein verkehrtes, von Schiffen, welche in einer Entfernung von 30 Seemeilen, also noch vollständig unter dem Horizonte waren. Alle diese Erscheinungen rühren nur von der ungleichen Temperatur und Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten her.

Fig. 235.



Die Erscheinung der Kimmung habe ich wiederholt am Bodensee zu sehen Gelegenheit gehabt. Von Ueberlingen aus sieht man in der Richtung nach Meersburg hinschauend, ein kleines Vorgebirge unter gewöhnlichen Umständen, so wie es Fig. 235 zeigt, durch Kimmung aber erscheint es manchmal gehoben, Fig. 236, gerade so als ob man es

Fig. 236.

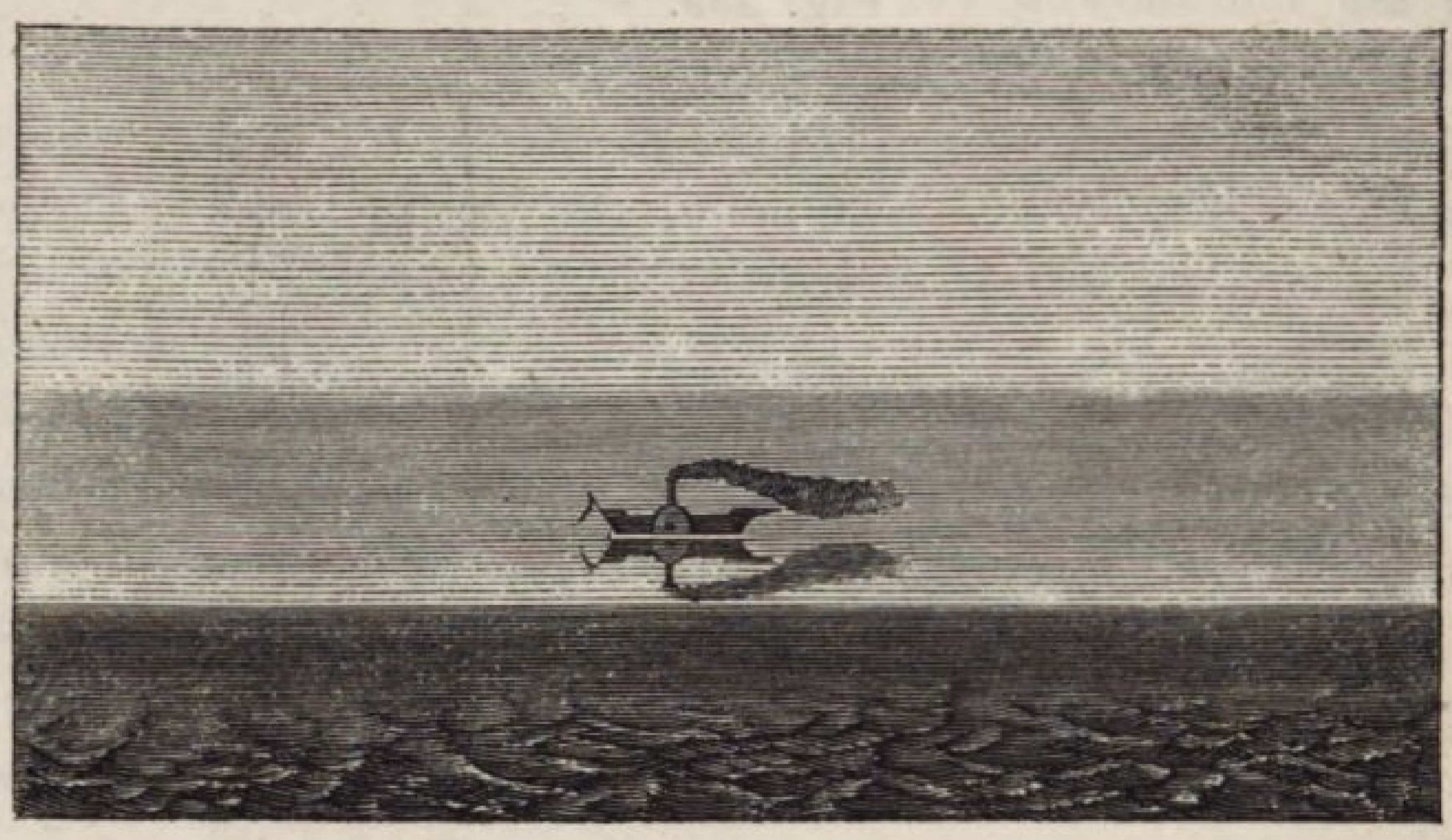


von einem bedeutend höheren Standpunkte aus beobachtete. — Manchmal kann man von Constanz aus das Ufer mit dem Fuss der Gebäude

von Friedrichshafen über den Horizont gehoben erblicken, während es gewöhnlich von demselben verdeckt erscheint. — An Schiffen, welche so weit entfernt sind, dass sie unter gewöhnlichen Umständen in oder noch hinter dem normalen Wasserhorizonte erscheinen würden, habe ich mit einem kleinen Handfernrohr die Erscheinung wahrgenommen, wie sie in Fig. 237 dargestellt ist, so dass nicht allein das Schiff ziemlich hoch über dem Horizont gehoben erschien, sondern auch noch sein Spiegelbild im Wasser sichtbar wurde.

Diese Erscheinung rührt offenbar daher, dass die Dichtigkeit der unteren Luftschichten mit der Erhöhung über den Boden ungewöhnlich rasch abnimmt, so dass die vom Gegenstand aus ins Auge gelangenden

Fig. 237.



Lichtstrahlen nicht eine gerade, sondern eine mehr oder weniger stark nach oben gewölbte Linie beschreiben. Es wird dies, wie Zech (Jelinek's Zeitschrift für Meteorologie II. Bd.) richtig bemerkt, namentlich dann der Fall sein müssen, wenn bis zu einer gewissen Gränze die höheren Luftschichten wärmer sind als die tieferen. — Unter Umständen bringt die rasch nach oben abnehmende Dichtigkeit der Luft nicht allein eine Erhebung, sondern auch eine nach oben gerichtete Luftspiegelung hervor, wie das in Figur 233 dargestellte Beispiel zeigt.

Die Bilder ferner Gegenstände, welche uns durch aussergewöhnliche atmosphärische Refraction und Luftspiegelung sichtbar werden, können uns aber, wenn die Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten eine unregelmässig wechselnde ist, nicht allein verzerrt, sondern auch in fortwährender Bewegung erscheinen, wie dies bei der unter dem Namen der Fata Morgana zu Neapel, zu Reggio und an den Küsten Siciliens bekannten Erscheinung der Fall ist. Auf einmal sieht man in grosser Entfernung in den Lüften Ruinen, Säulen, Schlösser, Paläste, kurz eine Menge von Gegenständen, deren Anblick sich fortwährend ändert. Das Volk strömt dann dem Ufer zu, um dieses sonderbare Schauspiel anzusehen. Diese feenhafte Erscheinung beruht darin, dass Gegenstände sichtbar werden, die man bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nicht sehen kann und

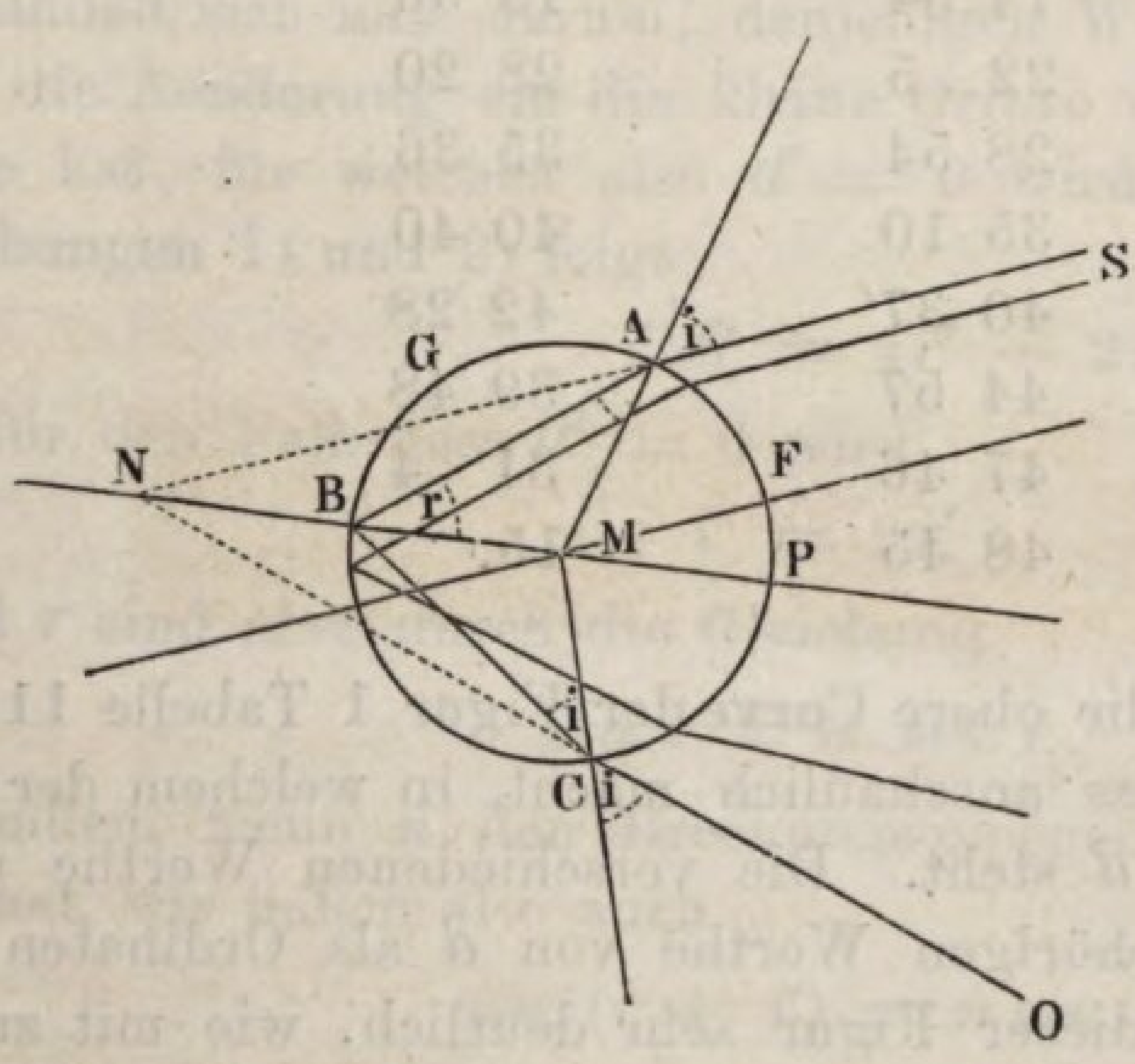
welche zerrissen, verzerrt und in fortwährender Bewegung zu sein scheinen, weil die ungleich dichten Luftschichten in steter Bewegung sind.

Der Regenbogen. Es ist allgemein bekannt, dass man einen Regenbogen sieht, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichsam die Basis eines Kegels, in dessen Spitze das Auge steht und dessen Axe mit der geraden Linie zusammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erscheint der Regenbogen auch in dem Staubregen der Wasserfälle und Springbrunnen. 152

Um den Regenbogen zu erklären, muss man den Weg der Sonnenstrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Wenn ein Sonnenstrahl SA, Fig. 238, einen Regentropfen trifft, so wird er gebrochen, und es ist leicht, die Richtung des gebrochenen Strahls AB zu berechnen oder zu construiren. Bezeichnet man den Einfallswinkel mit i, den Brechungswinkel mit r, so ist $sin. i = 1{,}33 \; sin. r$, weil 1,33 der Brechungsexponent für Wasser ist. In B wird der Strahl theils gebrochen, theils gespiegelt; der gespiegelte Strahl trifft in C von Neuem die Oberfläche des Tropfens und wird nach der Richtung CO gebrochen. Verlängert man die Linien SA und OC, so schneiden sie sich in N. Der Winkel ANC, den wir mit d bezeichnen wollen, ist der Winkel, welchen der austretende Sonnenstrahl mit dem einfallenden macht, und die Grösse dieses Winkels soll zunächst bestimmt werden. Ziehen wir in dem Punkte B, in welchem der Strahl gespiegelt wird, das Einfallsloth BN, so ist der Winkel $BNA = \frac{1}{2} d$. Der Winkel PMA ist, wie leicht einzusehen, $= 2r$ (als Aussenwinkel des Dreiecks MBA), und da $2r$ auch ein Aussenwinkel des Dreiecks MAN ist, so haben wir

Fig. 238.



$$\frac{1}{2} d = 2r - i;$$

denn der Winkel MAN ist gleich i. Daraus folgt aber

$$d = 4r - 2i \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

Dieser Werth von d zeigt, dass der Winkel der eintretenden und austretenden Sonnenstrahlen mit der Grösse des Einfallswinkels sich än-

dert; denn von i hängt r und von beiden hängt d ab. Je nachdem also die unter sich parallel eintretenden Sonnenstrahlen in verschiedenen Punkten den Regentropfen treffen, erleiden sie auch nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung verschiedene Ablenkungen. Der einfallende Strahl, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Tropfens geht, erleidet gar keine Ablenkung, denn für diesen Strahl ist $i = 0$; wenn aber $i = 0$, so sind auch r und d gleich Null. Je mehr nun der Einfallspunkt nach A hinrückt, desto grösser wird i, und die stetige Veränderung von i hat auch eine stetige Veränderung von d zur Folge. Es ist leicht, zu jedem i das zugehörige r und dann das zugehörige d nach Gleichung 1) zu berechnen, wie es in folgender Tabelle für einige Werthe von i geschehen ist. Es ist hierbei 1,33 als Brechungsexponent beim Uebergang der Lichtstrahlen aus Luft in Wasser angenommen.

i	r	d
10°	7°30′	10°
20	14 54	19 36′
30	22 5	28 20
40	28 54	35 36
50	35 10	40 40
60	40 37	42 28
70	44 57	39 48
80	47 46	31 4
90	48 45	15.

Nach dieser Tabelle ist die obere Curve der Figur 1 Tabelle 11 construirt, welche das Verhältniss anschaulich macht, in welchem der Einfallswinkel i zur Ablenkung d steht. Die verschiedenen Werthe von i sind als Abscissen, die zugehörigen Werthe von d als Ordinaten aufgetragen. Man ersieht aus dieser Figur sehr deutlich, wie mit zunehmendem Werthe von i auch die Ablenkung wächst, bis sie ein Maximum erreicht, wenn i gegen 59 bis 60° ist. Wächst i noch mehr, so nimmt die Ablenkung wieder ab.

Aus dem eben Gesagten folgt nun unmittelbar, dass die parallel auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen, die wir bisher betrachtet haben, nach ihrem Austritte aus dem Tropfen divergiren. Es ist begreiflich, dass durch diese Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindrucks, den sie hervorbringen, ganz ausserordentlich geschwächt wird, namentlich, wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge sich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung ins Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche diese Divergenz ein Minimum ist, oder, mit anderen Worten, nur diejenigen, welche sehr nahe parallel austreten.

Suchen wir nun in der Curve ABC (Fig. 1, Tab. 11) diejenige Stelle,

wo bei gleichmässiger Veränderung der Abscissen i die Ablenkung sich verhältnissmässig am wenigsten ändert, so finden wir, dass dies der Fall ist, wenn die Ablenkung ein Maximum ist; denn an dieser Stelle ist die Curve fast horizontal. Für alle Einfallswinkel i, welche selbst einige Minuten grösser oder kleiner sind als $59^0\ 30'$, ist die Ablenkung fast ganz dieselbe, sie beträgt sehr nahe $42^0\ 30'$; eine ziemliche Menge parallel einfallender Sonnenstrahlen verlässt also den Tropfen fast in derselben Richtung, nachdem sie eine Ablenkung von sehr nahe $42^0\ 30'$ erlitten haben; und diese Strahlen werden unter allen aus dem Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Dasselbe Resultat, welches wir eben auf graphischem Wege abgeleitet haben, lässt sich aber auch in folgender Weise durch Rechnung erhalten.

Wenn der Einfallswinkel i um eine ganz kleine Grösse i' wächst oder abnimmt, so wird r um r' wachsen oder abnehmen und d die Aenderung d' erleiden. Die Gleichung 1) wird alsdann

$$d + d' = 4r + 4r' - 2i - 2r' \quad \ldots \ldots \quad 2)$$

Es handelt sich nun darum, denjenigen Werth von i zu finden, für welchen die Aenderung um die kleine Grösse i' keine Aenderung von d zur Folge hat, für welchen also $d' = 0$ wird. Aus der Combination der Gleichungen 1) und 2) folgt

$$d' = 4r' - 2i',$$

also für den Fall, dass $d' = 0$ wird

$$i' = 2r' \quad \ldots \ldots \quad 3)$$

i und r sind aber durch die Gleichung

$$sin.\, i = n\,.\, sin.\, r \quad \ldots \ldots \quad 4)$$

verbunden, wenn n den Brechungsexponenten aus Luft in Wasser bezeichnet, wir haben also auch

$$sin.\, (i + i') = n\, sin.\, (r + r')$$

oder

$$sin.\, i\ cos.\, i' + cos.\, i\ sin.\, i' = n\,.\, sin.\, r.\ cos.\, r' + n\, cos.\, r\,.\, sin.\, r',$$

da aber i' und r' sehr klein sind, so kann man

$$cos.\, i' = cos.\, r' = 1,\ sin.\, i' = i' \text{ und } sin.\, r' = r'$$

setzen und demnach wird die vorige Gleichung

$$sin.\, i + i'\, cos.\, i = n\,.\, sin.\, r + n r'\, cos.\, r'$$

und wenn man von dieser Gleichung die Gleichung 4) abzieht

$$i'\, cos.\, i = n r'\, cos.\, r.$$

Daraus wird, wenn man für i' seinen Werth aus Gl. 3) setzt

$$2\, r'\, cos.\, i = n r'\, cos.\, r$$

$$2\, cos.\, i = n\, cos.\, r.$$

Wird diese Gleichung aufs Quadrat erhoben, so kommt:

$$4\,.\, cos.\, i^2 = n^2\, cos.\, r^2$$

$$4\,(1 - sin.\,i^2) = n^2\,(1 - sin.\,r^2)$$

und wenn man für $sin.\,i$ seinen Werth aus Gl. 4) setzt:

$$4\,(1 - n^2\,sin.\,r^2) = n^2\,(1 - sin.\,r^2)$$

oder nach einigen Umformungen

$$sin.\,r = \frac{1}{n}\sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$

und

$$sin.\,i = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$

Setzen wir für n seinen Zahlenwerth 1,33, so kommt

$$sin.\,i = 0{,}86238 \text{ also } i = 59^0\ 35',$$

wonach ferner

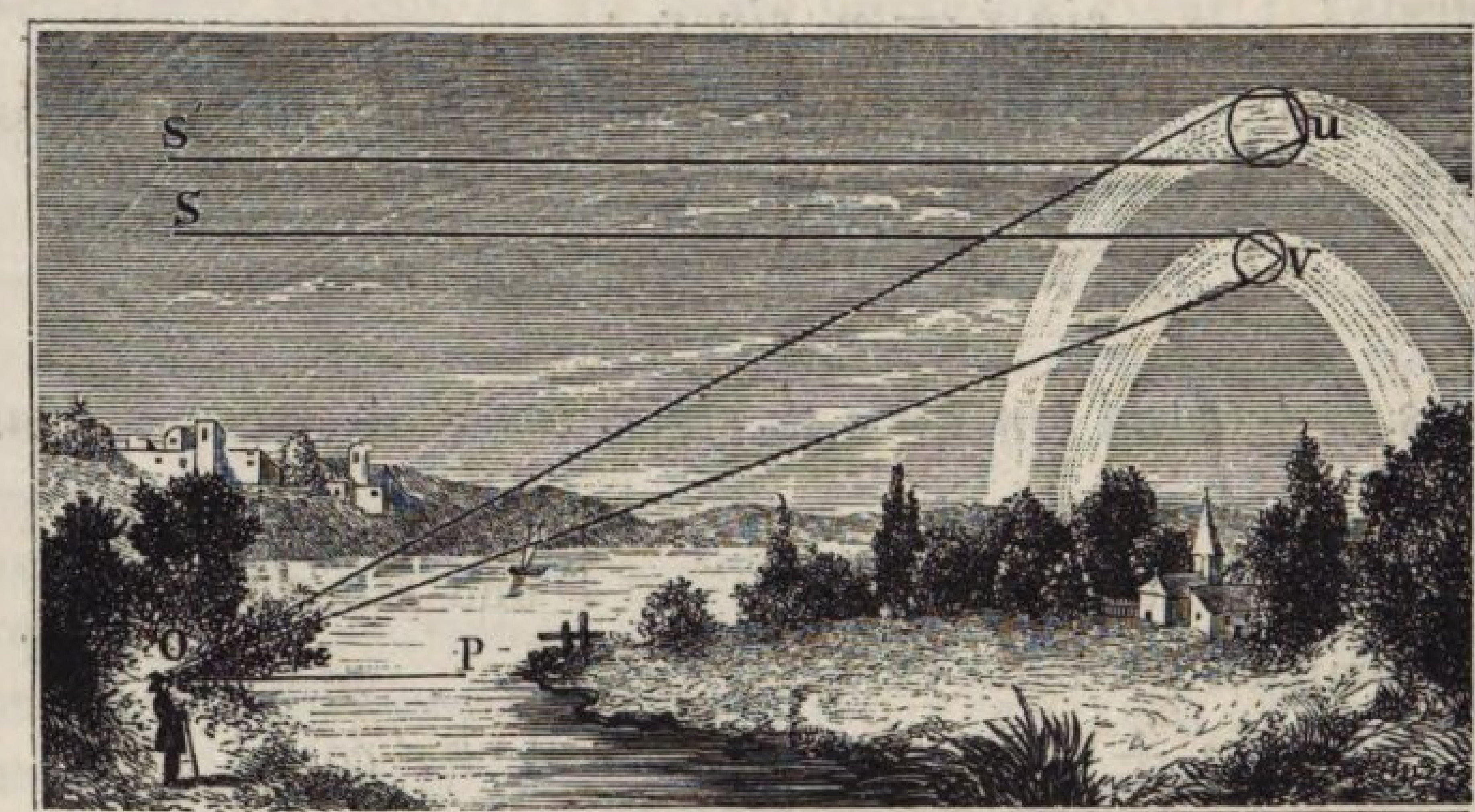
$$sin.\,r = \frac{0{,}86238}{1{,}33} = 0{,}6483 \text{ also } r = 40^0\ 25'$$

und endlich

$$d = 42^0\ 30'.$$

Man denke sich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie OP, Fig. 239, gezogen, und durch dieselbe eine Verticalebene gelegt. Man ziehe ferner durch O eine Linie OV, so dass der Winkel $POV = 42^0\ 30'$, so werden nach dieser Richtung hin sich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirksame Strahlen ins Auge senden. Jedoch nicht allein in dieser Richtung empfängt das Auge wirksame Strahlen, sondern, wie leicht begreiflich, von

Fig. 239.



allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, die durch Umdrehung der Linie OV um die Axe OP entsteht; das Auge wird also einen lichten Kreis sehen, dessen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und dessen Halbmesser unter einem Winkel von $42^0\ 30'$ erscheint.

Bei der obigen Betrachtung wurde 1,33 als Brechungsexponent in Rechnung gebracht. Es ist dies aber der Brechungsexponent der rothen

Strahlen, das Auge sieht also in der erwähnten Richtung einen rothen Kreis, der als ein rother Ring von 30′ Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe ist, die den scheinbaren Durchmesser von 30′ hat. Für violette Strahlen ist der Brechungsexponent 1,34, und daraus ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von i und d:

i	d	i	d
0	0	50°	39°
10°	9° 40′	60	40 28′
20	18 57	70	37 28
30	27 22	80	28 28
40	34 20	90	12 18

Nach diesen Zahlen ist die unterste Curve (Fig. 1, Tab. 11) construirt. Das Maximum der Ablenkung, welche die violetten Strahlen nach einmaliger innerer Spiegelung im Tropfen erleiden, ist demnach nahe 40° 30′; dies ist also die Richtung, in welcher die wirksamen violetten Strahlen austreten. Es wird also concentrisch mit dem rothen ein violetter Kreisbogen von geringerem Halbmesser sichtbar sein, welcher gleichfalls eine Breite von 30′ hat. Zwischen diesen äussersten Bogen erscheinen die der übrigen prismatischen Farben, und so bildet also gewissermaassen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bogen ausgedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2°, da ja der Halbmesser des rothen Bogens um 2° grösser ist als der des violetten.

Was den Umfang des farbigen Bogens betrifft, so hängt er offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne eben untergeht, so erscheint der Regenbogen im Osten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale ist; wenn der Beobachter in der Ebene steht, so bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis; er kann aber mehr als einen Halbkreis übersehen, wenn er auf einer isolirten Bergspitze von geringer Breite oder auf einem hohen Thurme steht. Bei Sonnenaufgang erscheint der Regenbogen im Westen. Je höher die Sonne steigt, desto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizont, desto kleiner ist also das dem Auge sichtbare Bogenstück. Wenn die Sonne 42° 30′ hoch steht, ist für einen in der Ebene stehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr sichtbar, weil alsdann der Gipfel desselben gerade in den Horizont, der ganze Bogen also unter den Horizont fallen würde. Von den Masten der Schiffe sieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; solche ganze kreisförmige Regenbogen sieht man auch oft an Wasserfällen und Springbrunnen.

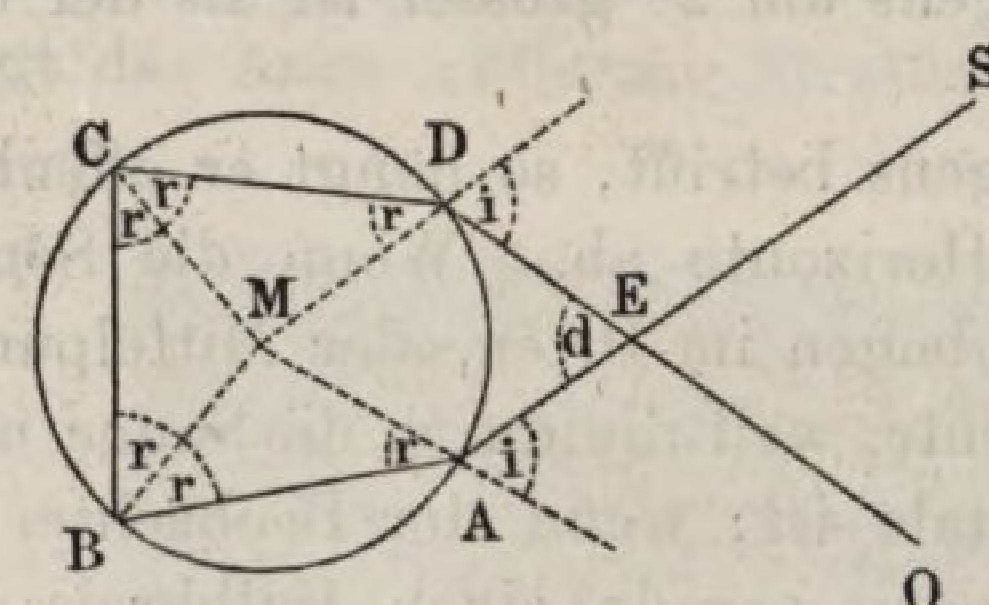
Ausser dem eben besprochenen Hauptregenbogen sieht man gewöhnlich noch einen zweiten grösseren, mit dem ersteren concentrischen, den Nebenregenbogen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte ist; beim äusseren Regenbogen ist nämlich das Roth innen, das

Violett aussen. Der Nebenregenbogen ist weit weniger lichtstark als der innere, er erscheint weit blasser. Man hatte früher die irrige Ansicht, der Nebenregenbogen sei gleichsam ein Spiegelbild des Hauptregenbogens. Die Entstehung des äusseren Regenbogens beruht auf denselben Principien wie die des inneren, er entsteht durch Sonnenstrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine **zweimalige innere Reflexion** erlitten haben.

In Fig. 240 ist der Gang eines Lichtstrahles dargestellt, welchen derselbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlassen. SA ist der einfallende Sonnenstrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C gespiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In diesem Falle schneiden sich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, dessen Grösse veränderlich ist, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer anderen Stelle, also unter einem anderen Einfallswinkel, trifft. Suchen wir nun den Werth des Ablenkungswinkels d zu ermitteln.

Die Summe aller Eckwinkel des Fünfecks $ABCDE$ beträgt, wie dies bei jedem Fünfeck der Fall ist, 6 Rechte oder 540°. Um den Winkel d zu finden, haben wir also nur von 540° die Eckwinkel bei A, B, C und D abzuziehen; jeder der Eckwinkel bei B und C beträgt $2r$, zusammen machen sie also $4r$ aus; der Winkel bei D sowohl als der bei A ist aber gleich r + dem Winkel MDE; für den Winkel MDE können wir aber seinen Werth 180 — i setzen, folglich ist der Winkel CDE gleich $r + 180 - i$, die beiden Eckwinkel bei A und D sind also zusammen $2r + 360 - 2i$; wir haben also:

Fig. 240.



$$d = 540 - 4r - (2r + 360 - 2i)$$

oder
$$d = 180^0 + 2i - 6r.$$

Nach dieser Formel ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe des Einfallswinkels i und des Ablenkungswinkels d für violettes und rothes Licht:

Einfallswinkel	Ablenkungswinkel	
	für Roth	für Violett
0	180°	180°
40	86 36′	88 0′
60	56 18	58 24
70	50 18	53 24
80	53 24	56 12
90	68 30	70 18

Tab. 11.

Fig. 1.

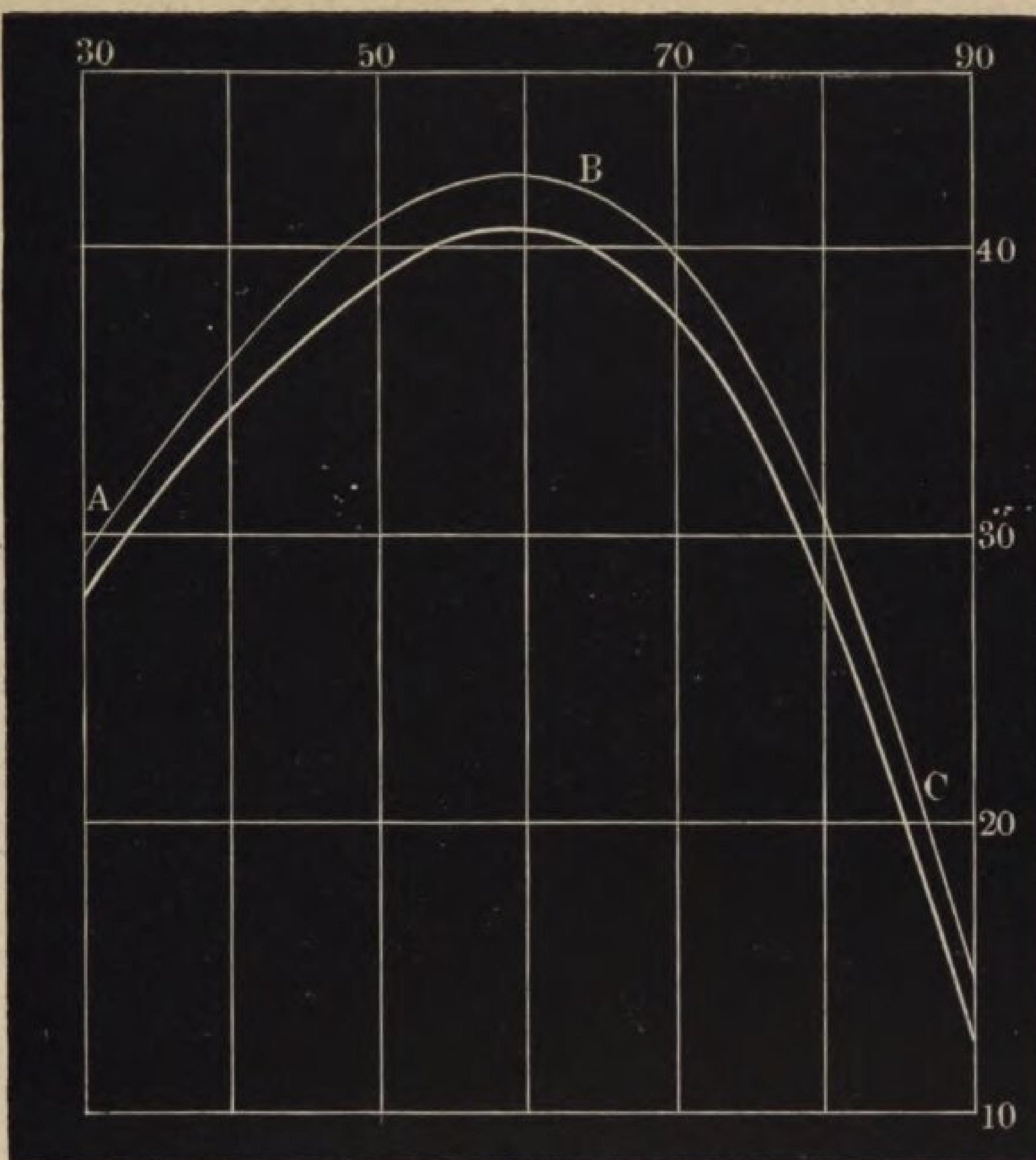
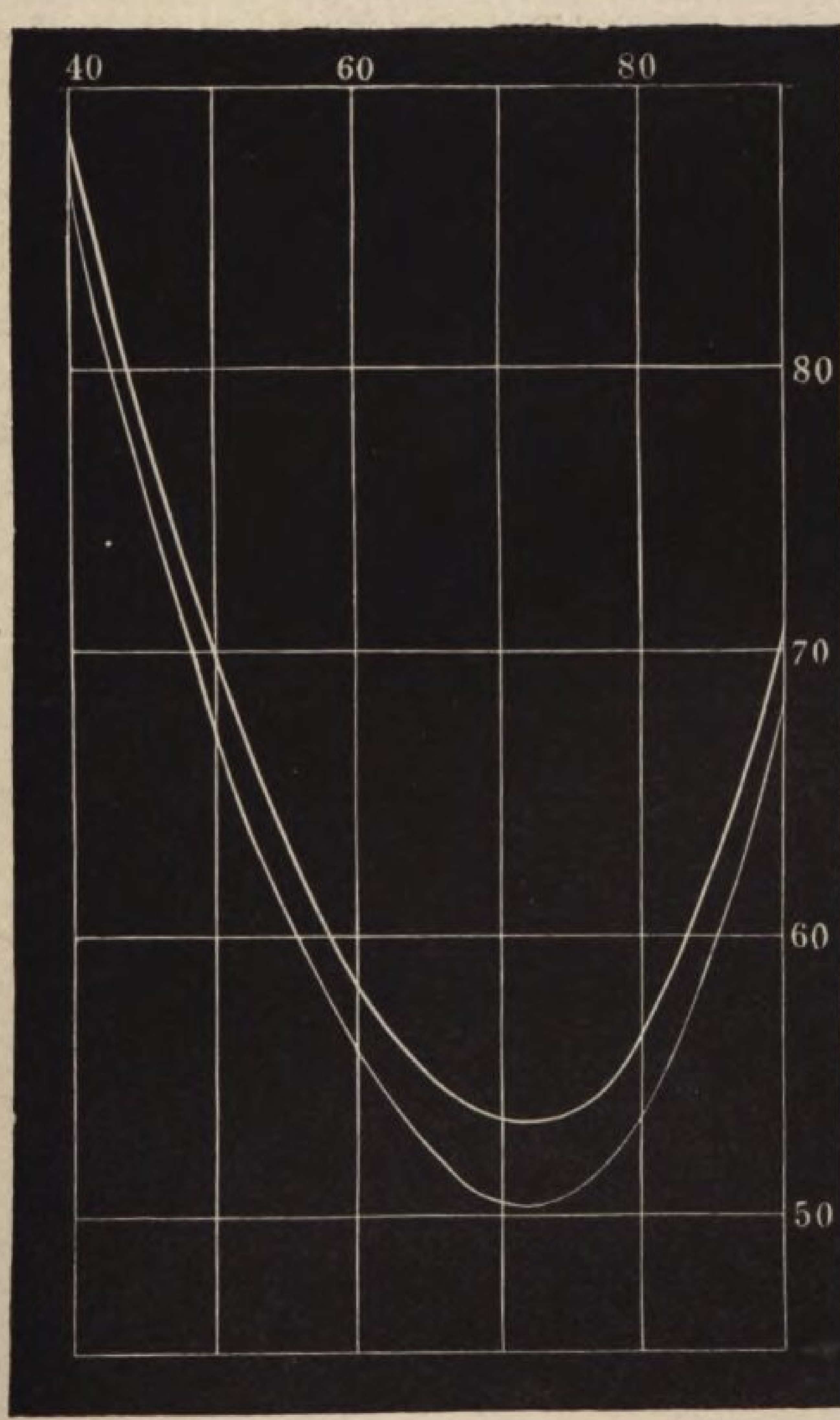


Fig. 2.



Wenn ein rechtwinklig auf den Tropfen fallender Strahl, an der Rückwand des Regentropfens reflectirt, die Vorderfläche wieder trifft, so tritt er zum Theil in der Richtung wieder aus, in der er gekommen war, der Winkel des eintretenden und des austretenden Strahls ist für diesen Fall gleich Null; zum Theil erleidet er aber an der Vorderwand eine zweite Reflexion und tritt dann in einer Richtung aus, welche die Verlängerung des einfallenden Strahls bildet; die Ablenkung ist alsdann 180°. Trifft der einfallende Strahl nicht rechtwinklig auf den Tropfen, so nimmt die Totalablenkung nach zweimaliger innerer Spiegelung ab, wenn der Einfallswinkel wächst. Für einen Einfallswinkel von ungefähr 71° ist die Ablenkung ein Minimum, und zwar beträgt sie für die rothen Strahlen ungefähr 50°, für violette nahe 53½°. Für noch grössere Einfallswinkel nimmt die Ablenkung wieder zu.

Nach den Zahlen der letzten Tabelle sind die beiden Curven der Fig. 2 auf Tab. 11 construirt, und zwar gilt die untere für die rothen, die obere für die violetten Strahlen. Man sieht aus dem Anblick der Figur, dass in der Nähe des Minimums der Ablenkung eine kleine Veränderung des Einfallswinkels keine bedeutende Veränderung in der Ablenkung hervorbringt, dass also in der Richtung der kleinsten Ablenkung ein Bündel ziemlich paralleler Strahlen austritt, und diese Strahlen sind die einzigen unter allen, welche, den Tropfen nach zweimaliger innerer Spiegelung verlassend, einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können. Aus der für den ersten Regenbogen entwickelten Schlussweise ergiebt sich, dass man unter den geeigneten Umständen einen rothen Bogen sehen wird, dessen Halbmesser unter einem Winkel von 50°, und einen violetten, dessen Radius unter einem Winkel von 53½° erscheint. Die Breite des zweiten Regenbogens beträgt also ungefähr 3½°.

Der Zwischenraum der beiden Regenbogen beträgt ungefähr 7½°.

Der äussere Regenbogen ist blasser, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, indem das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen sehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine dreimalige und eine viermalige innere Spiegelung erlitten haben, wenn diese Strahlen nicht zu lichtschwach wären.

Secundäre Regenbogen. Im vorigen Paragraphen wurde nur 153
die Haupterscheinung des Regenbogens betrachtet, welche er jedesmal ohne wesentliche Veränderung zeigt; es kommt indessen noch eine interessante Nebenerscheinung vor, die nur unter besonderen Umständen und nicht immer in ganz gleicher Weise eintritt, nämlich die sogenannten secundären oder überzähligen Regenbogen.

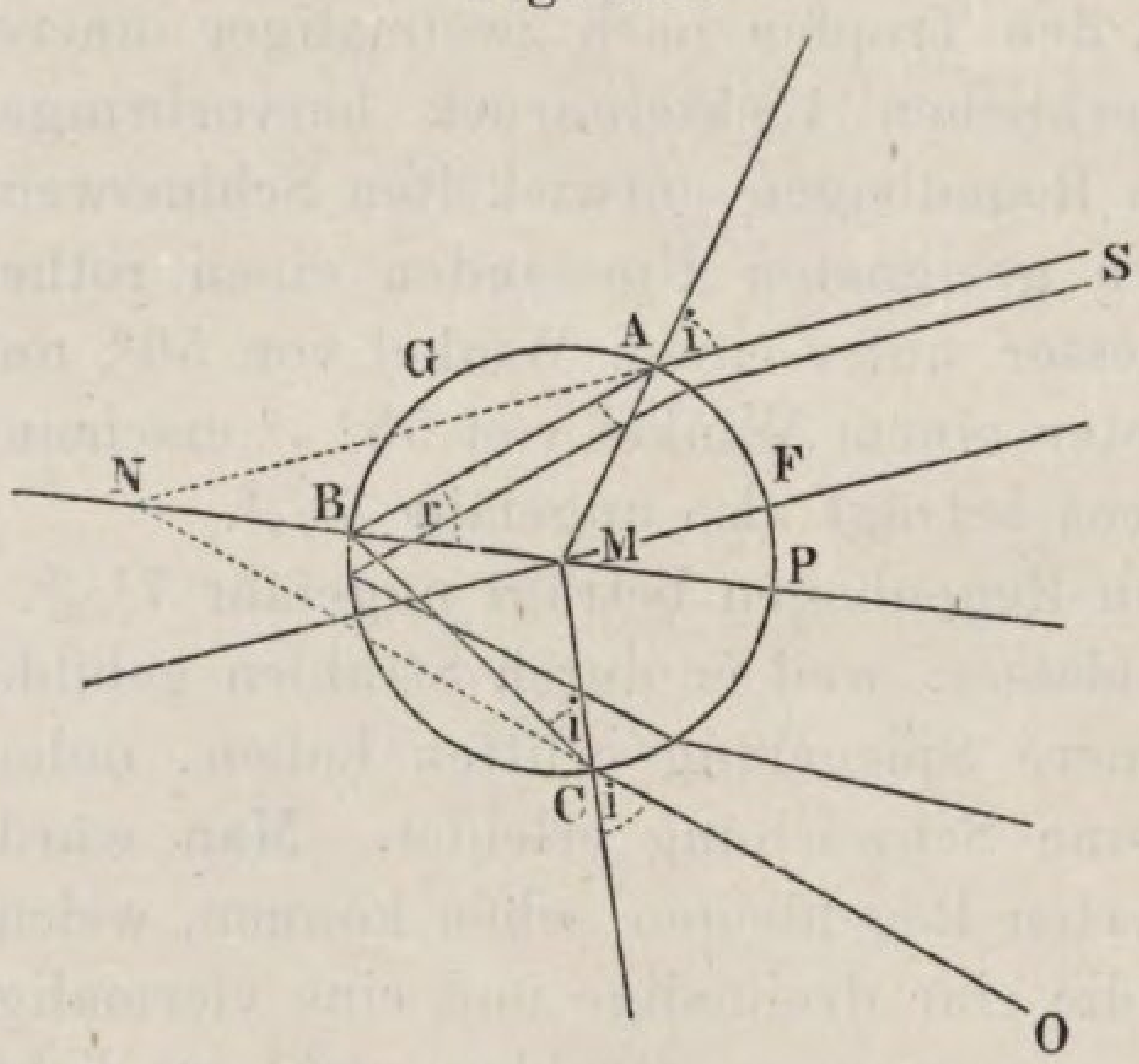
Die überzähligen Regenbogen bestehen darin, dass der Hauptregenbogen nach Innen, und manchmal auch der Nebenregenbogen nach Aussen nicht mit dem Violett abschliesst, sondern, dass sich jen-

seits des Violett noch mehrere, meist abwechselnd grün und rothe Bogen anschliessen. Diese secundären Bogen erscheinen in der Regel nur am obersten Theile der primären, indem sie nach beiden Seiten hin allmälig matter werden und lange bevor sie den Fuss erreichen, ganz verschwinden.

Venturi sucht die überzähligen Regenbogen durch die Annahme zu erklären, dass die herabfallenden Regentropfen zum Theil wenigstens eine abgeplattete Gestalt haben (Gilb. Ann. LII, 1816), d. h., dass sie die Gestalt eines Umdrehungsellipsoides haben, dessen verticale Umdrehungsaxe kleiner ist, als sein Aequatorialdurchmesser. In der That würden solche Tropfen, welche in oder nahe der Verticalebene der Sonne liegen, einen niedrigeren Hauptregenbogen liefern als die kugelförmigen. Ausser anderen Einwendungen, die sich gegen diese Hypothese machen lassen, lässt sich gegen dieselbe besonders geltend machen, dass man ausser den kugelförmigen Tropfen, welche den normalen Regenbogen liefern, für jeden secundären Bogen die Existenz von Tropfen eines bestimmten Abplattungsgrades annehmen muss, ohne dass Zwischenformen vorkommen.

Nach Young sind die überzähligen Regenbogen als ein Interferenzphänomen zu betrachten. Aus dem vorigen Paragraphen wissen wir, dass unter allen auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen nur diejenigen als wirksame Strahlen austreten, für welche nach einmaliger innerer Reflexion der Ablenkungswinkel d ein Maximum ist. In Fig. 241 sei nun SA dasjenige Bündel einfallender Sonnenstrahlen, welches in der Richtung CO als ein wirksames Strahlenbündel austritt, so werden alle zwischen A und F auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen, sowie alle diejenigen, welche ihn zwischen A und G treffen, nach einmaliger innerer Reflexion in einer Richtung austreten, welche mit der Richtung der einfallenden Sonnenstrahlen einen kleineren Winkel macht als CO. Einem jeden zwischen F und A einfallenden Strahl wird aber ein anderer zwischen A und G den Tropfen treffender entsprechen, welcher mit dem ersteren nach einmaliger innerer Reflexion den Tropfen in gleicher Richtung verlässt. Diese beiden Strahlen müssen aber nothwendig interferiren, da sie innerhalb des Tropfens verschiedene Wege zurückgelegt haben. Wenn man sich den Ablenkungswinkel d von seinem Maximumswerthe aus allmälig abnehmend denkt, so wird dabei für die beiden nach gleicher Richtung austretenden und interferirenden Strahlen der Gangunterschied immer grösser, sie werden sich daher abwechselnd verstärken und schwächen müssen. Das auf solche Weise

Fig. 241.



durch Interferenz erzeugte 1te, 2te, 3te Maximum der Lichtstärke für eine bestimmte Strahlenart wird aber offenbar dem gleichfarbigen Ringe des primären Regenbogens um so näher liegen, je grösser die Regentropfen sind. Bei einer bestimmten Kleinheit der Tropfen wird das erste Interferenzmaximum für rothe Strahlen mit dem violetten Ringe des Hauptregenbogens zusammenfallen und so an dieser Stelle ein purpurfarbener Ring entstehen, dem sich dann die weiteren Ringe des secundären Regenbogens anschliessen.

Airy hat diese Young'sche Erklärung der secundären Regenbogen weiter entwickelt und vollendet; wir können aber hier nicht näher darauf eingehen und verweisen zunächst auf die gelungene Darstellung dieses Gegenstandes, welche Clausius im 4. Hefte von Grunert's Beiträgen zur meteorologischen Optik, Leipzig 1850, gegeben hat, und dann auf Airy's Originalabhandlung, von welcher sich eine Uebersetzung im 1sten Ergänzungsbande von Poggendorff's Annalen (1842) findet.

Höfe. Oft sieht man, wenn der Himmel mit einem leichten Wolkenschleier überzogen ist, dicht um die Sonne oder den Mond farbige Ringe, welche man mit dem Namen der Höfe bezeichnet. Sehr häufig erscheinen diese Höfe nicht vollständig, sondern nur stückweise. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, so liegt der Grund darin, dass das Licht der Sonne zu blendend ist; man sieht aber diese auch, sobald man das Bild der Sonne in ruhigem Wasser oder in einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel betrachtet. 154

Diese Höfe haben die grösste Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man um eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit Semen lycopodii bestreute Glasplatte betrachtet (Lehrb. der Physik, 7. Aufl. Bd. I. S. 777), und sicherlich sind die Höfe ebenso wie dieses Phänomen zu den Interferenzerscheinungen zu zählen; die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

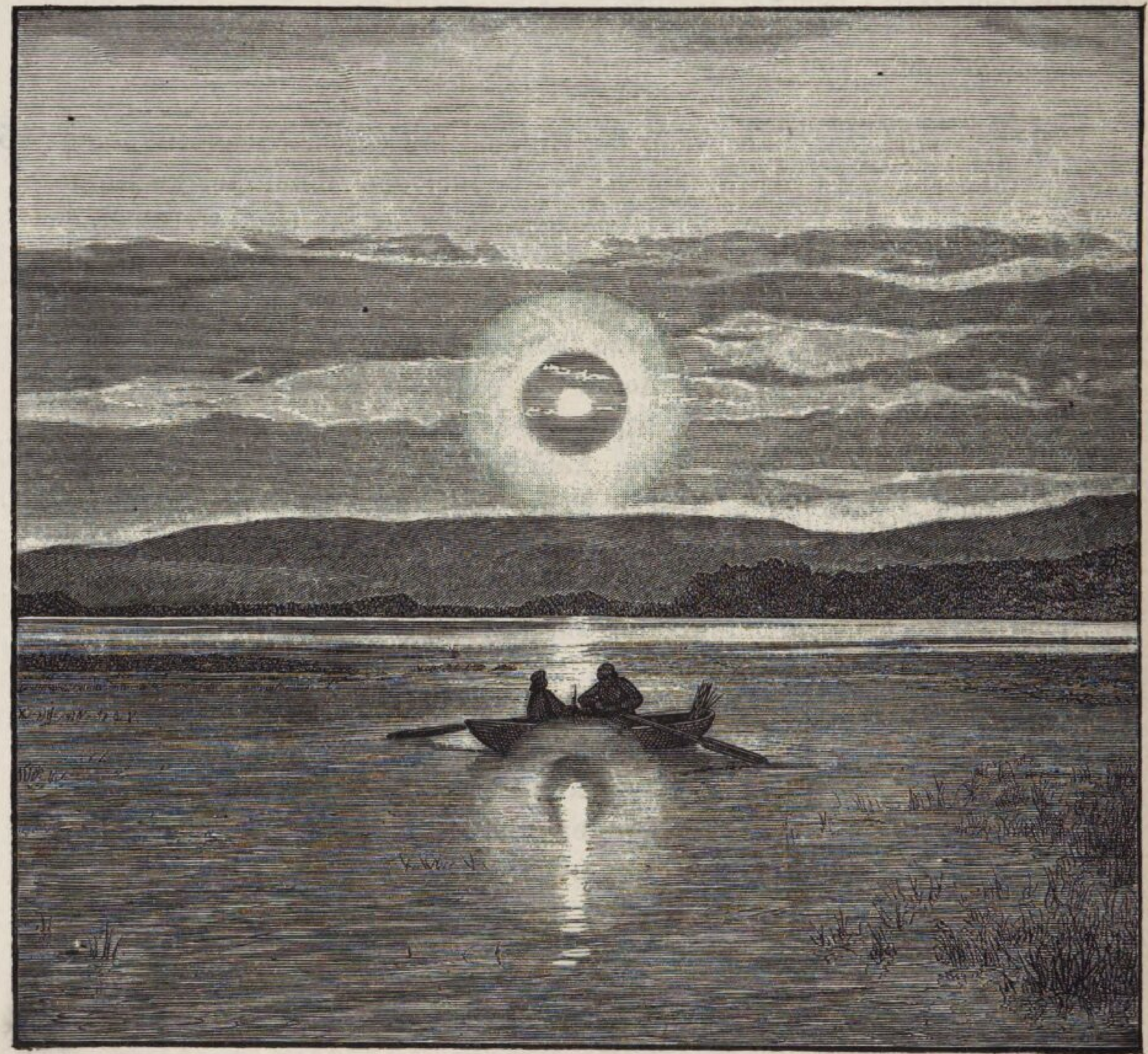
Mit dem gleichen Namen der Höfe bezeichnet man aber auch eine andere Art von Lichtringen, welche meist nur schwach gefärbt, die Sonne oder den Mond in grösseren Winkelabständen umgeben. Fraunhofer nennt die ersteren Höfe kleinerer Art, die letzteren aber Höfe grösserer Art. Es dürfte wohl am zweckmässigsten sein, den Namen der Höfe nur für die den Mond oder die Sonne unmittelbar glorienartig umgebenden Farbenringe, welche Kämtz auch Lichtkränze nennt, zu gebrauchen, die Höfe grösserer Art aber, welche in grösserer Entfernung von Sonne oder Mond erscheinen und welche im nächsten Paragraphen näher besprochen werden sollen, einfach als Sonnen- oder Mondringe zu bezeichnen.

Ein schönes Beispiel eines Hofes zeigt Fig. 242, welches die Copie der einen Hälfte eines englischen Momentan-Stereoskopbildes ist. Ein schöner Hof umgiebt nicht nur die Sonne selbst, sondern auch ihr in die Länge gezogenes Spiegelbild im Wasser ist von einem, freilich weniger

vollkommenen Hofe umgeben, welcher sich zum Theil wie ein Nebel vor dem Nachen ausbreitet.

Die Farben der eigentlichen Höfe folgen ganz den Gesetzen der Farben dünner Blättchen im durchgelassenen Lichte (Lehrbuch, 7. Aufl. I. Bd. S. 797). Bezeichnen wir also mit ϱ den Radius des innersten dunklen Ringes für irgend eine einfache Farbe, so ist der Radius des 2ten, 3ten u. s. w. dunklen Ringes derselben Farbe 3ϱ, 5ϱ u. s. w., während die Halbmesser der hellen Ringe der gleichen Farbe 2ϱ, 4ϱ, 6ϱ u. s. w. sind. Die Erklärung dieser Erscheinung ist auf die Beugungsfigur zurückzuführen, welche entsteht, wenn die von einer geraden Lichtlinie ausgehenden Strahlen von einem ihr parallelen dünnen undurch-

Fig. 242.

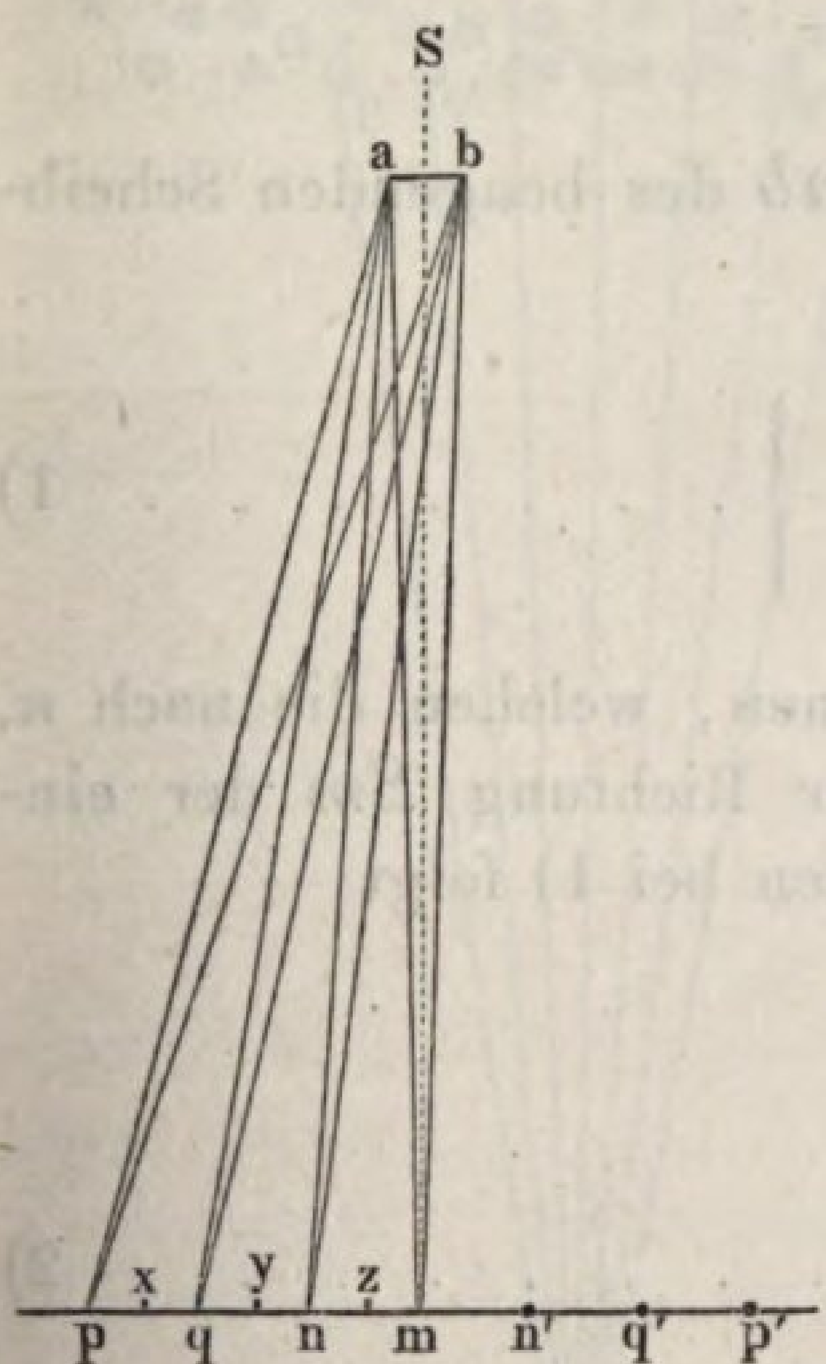


sichtigen Stäbchen oder die von einem Lichtpunkt ausgehenden Strahlen von einem undurchsichtigen Scheibchen oder einem undurchsichtigen Kügelchen aufgefangen werden.

Die durch ein dünnes Stäbchen, etwa durch einen Draht, hervorgebrachte Beugungsfigur entsteht durch die Interferenz der Randstrahlen.

Es sei z. B. ab, Fig. 243, der zur Richtung der einfallenden Strahlen rechtwinklige Durchmesser des Stäbchens, so werden die zunächst bei a liegenden Aethertheilchen elementare Strahlen nach allen Richtungen aussenden, ebenso wie die zunächst am Rande b liegenden. Denkt man sich nun in einiger Entfernung hinter ab einen weissen Schirm aufgestellt, so werden die von den beiden Rändern a und b aus gegen irgend einen Punkt m, n, q u. s. w. desselben convergirenden Strahlen, je nach Umständen einander verstärken oder gegenseitig aufheben. In dem Punkte m, welcher gleich weit von a und b entfernt ist, werden sich die beiden von a und b aus zusammentreffenden Randstrahlen aufs Vollständigste unterstützen, in m, in der Mitte hinter ab, in der Mitte des Beugungsbildes, wird sich also ein heller Streifen befinden, und zwar fallen hier die Maxima der Lichtstärke für alle farbigen Strahlen zusammen, bei Anwendung von weissem Licht wird also in m ein centraler weisser Streifen entstehen, während die seitlichen Streifen sämmtlich mehr oder weniger gefärbt sind.

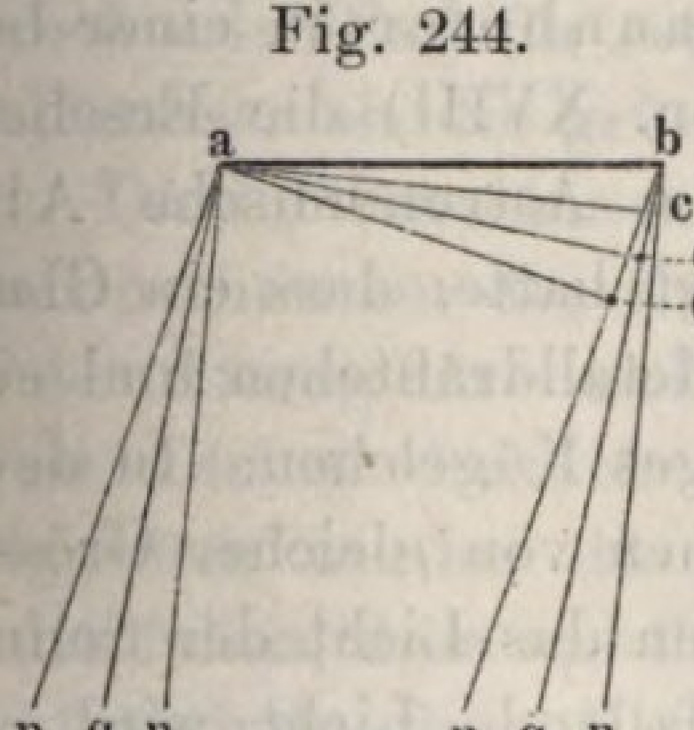
Fig. 243.



Für Strahlen einer bestimmten Farbe, etwa für Roth, wird ein zweites Maximum in n auftreten, wenn das von a auf den Randstrahl bn gefällte Perpendikel ac, Fig. 244, ein Stück bc abschneidet, dessen Länge gleich der Wellenlänge λ für rothes Licht ist.

Wenn die Punkte q und p, Fig. 243, 2mal, 3mal so weit von m entfernt sind als n, so werden die von a und b nach q und p convergirenden Randstrahlen in ihrem Gange um 2, 3 . . . Wellenlängen verschieden sein (weil das von a auf bq und das von a auf bp gefällte Perpendikel die Länge $bc' = 2\lambda$ und $bc'' = 3\lambda$, Fig. 244, abschneidet), in q und p werden also abermals helle Streifen für Roth entstehen, während sich in den zwischenliegenden Punkten z, y und x dunkle Streifen bilden, weil der Gangunterschied der hier zusammentreffenden Strahlen $^1/_2$, $^3/_2$, $^5/_2$ Wellenlängen für rothes Licht beträgt.

Fig. 244.



Der Punkt m, Fig. 243, liegt in der Mitte der ganzen Beugungsfigur; in den Punkten n', q' und p', welche eben so weit nach rechts vom m liegen, wie n, p und q nach links, werden also ebenfalls helle, in dem in der Mitte zwischen ihnen liegenden Punkten werden dunkle Streifen entstehen.

Tritt an die Stelle der geradlinigen Lichtquelle ein Lichtpunkt und an die Stelle des beugenden Stäbchens ein kreisrundes Scheibchen oder ein Kügelchen, so wird das Beugungsbild aus einem hellen centralen Fleck bestehen, welcher von abwechselnd hellen und dunklen concentrischen Ringen umgeben ist. Bezeichnen wir den Radius des innersten hellen Ringes (dem Abstand mn, Fig. 243, entsprechend) einer bestimmten Farbe, etwa des Roth, mit r, so sind die Radien der folgenden hellen Ringe derselben Farbe $2r$, $3r$ u. s. w., die Radien der dunklen Ringe dagegen sind $\frac{r}{2}$, $\frac{3r}{2}$, $\frac{5r}{2}$ u. s. w.

Bezeichnen wir mit d den Durchmesser ab des beugenden Scheibchens, so haben wir (vergl. Fig. 244)

$$\left.\begin{array}{l} bc = \lambda = d.\sin.\alpha \\ bc' = 2\lambda = d.\sin.\beta \\ bc'' = 3\lambda = d.\sin.\gamma \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn wir mit α, β und γ die Winkel bezeichnen, welchen die nach n, q und p convergirenden Randstrahlen mit der Richtung Sm der einfallenden Strahlen machen. Aus den Gleichungen bei 1) folgt

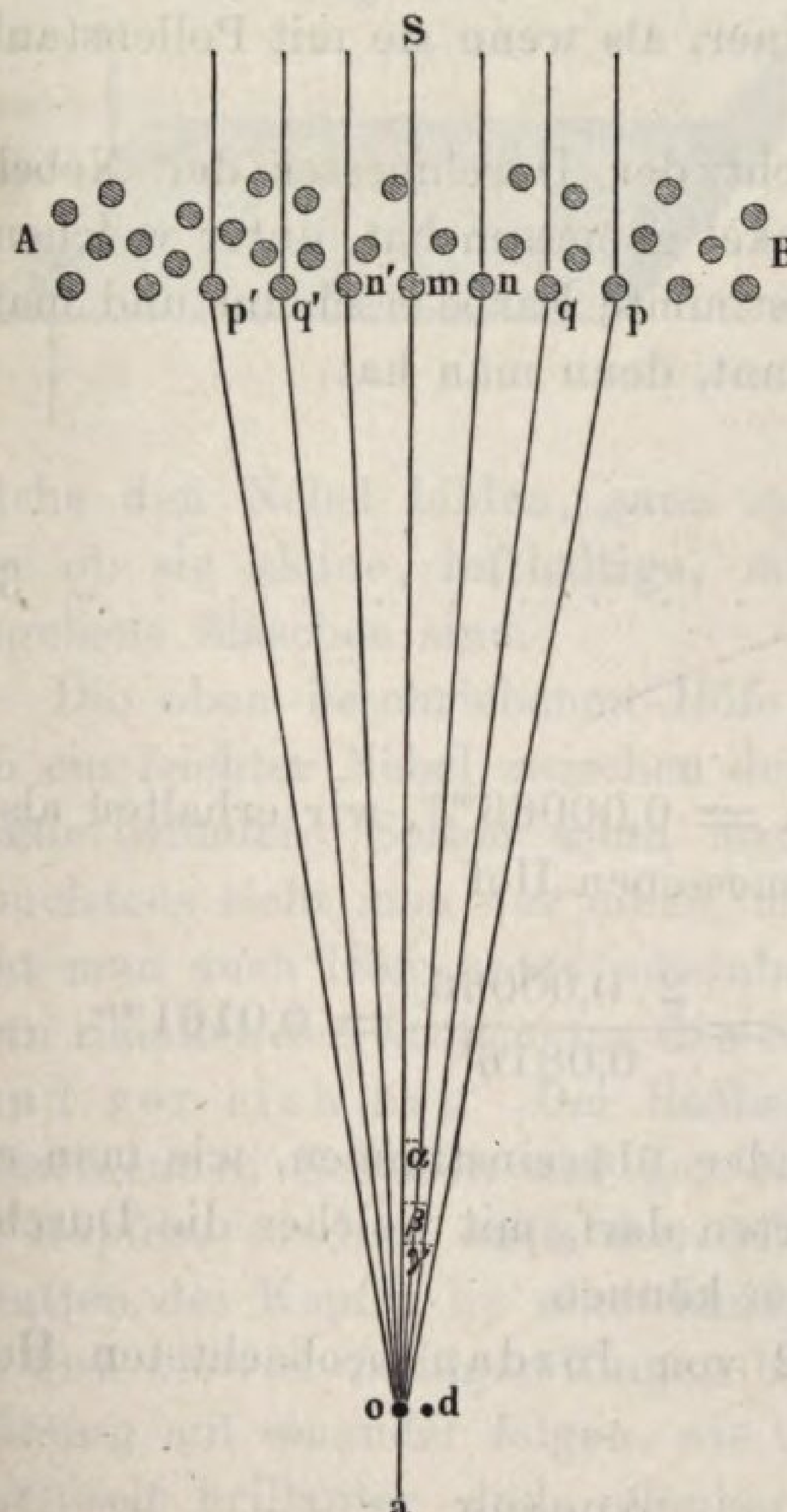
$$\left.\begin{array}{l} \sin.\alpha = \frac{\lambda}{d} \\ \sin.\beta = \frac{2\lambda}{d} \\ \sin.\gamma = \frac{3\lambda}{d} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

die Winkelwerthe, unter welchen die Radien der hellen Ringe im Beugungsbilde eines undurchsichtigen Scheibchens oder Kügelchens von der Mitte des Scheibchens aus gesehen erscheinen, sind also dem Durchmesser des Scheibchens umgekehrt proportional.

Auf diese Beugungserscheinung nun hat Fraunhofer in einer bereits von Jordan angedeuteten Weise (Gilb. Ann. XVIII) die Erscheinung der Höfe zurückgeführt (Schumacher's Astronomische Abhandlungen, 3. Heft), nachdem er sich überzeugt hatte, dass ein Glasfaden ganz ebenso wirkt, wie ein gleich dickes Metalldrähtchen und ein Glaskügelchen wie ein gleich dickes undurchsichtiges Kügelchen. In dem Raum AB, Fig. 245 (a. f. S.), seien Dunstkügelchen von gleicher Grösse so enthalten, dass auf den grössten Theil derselben das Licht der Sonne unmittelbar gelangen kann. Dieses parallel auffallende Licht wird an jedem Kügelchen in der angegebenen Weise gebeugt und unter verschiedenen Winkeln ausfahren. Nehmen wir an, das Auge in o empfange vom Kügelchen n das Roth der ersten Ordnung, so wird das Gleiche auch für das Kügelchen n' der Fall sein, welches auf der linken Seite eben so weit von der vom Auge nach der Sonne gezogenen Linie oS entfernt ist, wie

n auf der rechten Seite. Dasselbe wird ferner der Fall sein für alle Dunstkügelchen, welche auf den Umfang eines rechtwinklig auf oS stehenden Kreises liegen, dessen Mittelpunkt *m* und dessen Radius *mn* ist.

Fig. 245.



Dem Auge erscheint der Umfang dieses Kreises durch rothes Licht und zwar durch das Roth der ersten Ordnung erleuchtet, welches einen 30 Minuten breiten Ring bildet, weil die Sonne nicht ein leuchtender Punkt ist, sondern einen scheinbaren Durchmesser von 30′ hat.

Der (mittlere) Radius dieses Ringes erscheint dem Auge unter einem Winkel α, welcher dem bereits oben mit α bezeichneten Winkel gleich ist.

Von einem Dunstkügelchen *q*, welches doppelt so weit von *m* entfernt ist als *n*, wird dem Auge *o* das Roth der zweiten Ordnung zukommen, vom Kügelchen *p* das Roth der dritten Ordnung u. s. w. Das Auge erblickt also einen zweiten die Sonne umgebenden rothen Ring vom Halbmesser *mq*, der unter dem Winkel β, und einen dritten vom Halbmesser *mp*, welcher unter dem Winkel γ erscheint.

Für Strahlen anderer Farben ist der Weg dem vorigen ähnlich, wegen der kürzeren Wellenlänge wird aber der 1ste, 2te, 3te Ring für grünes Licht kleiner sein, als der entsprechende Ring für rothes, und die blauen Ringe haben einen kleineren Halbmesser als die grünen.

Da die Durchmesser der Farbenringe sich umgekehrt verhalten, wie die Durchmesser der Kügelchen, so muss der grösste Theil der Kügelchen in der Atmosphäre nahezu gleiche Grösse haben, wenn die Höfe mit ihren Farben deutlich wahrnehmbar sein sollen. Für ungleich grosse Kügelchen werden die hellen Ringe verschiedener Farben so über einander fallen, dass aus ihrer Mischung ein weissliches Licht entsteht. Man sieht alsdann einen Hof ohne Farben.

Die genauere Beobachtung von Höfen hat gezeigt, dass die Durchmesser der Farbenringe an verschiedenen Tagen sehr verschieden sind. So fand z. B. Jordan am 25. October 1797 mittelst eines Sextanten den mittleren Halbmesser des innersten rothen Ringes, also $\alpha = 2^0\,33'$, und den des zweiten rothen Ringes $\beta = 4^0\,41'$, während sich für einen am

3. October 1792 beobachteten Hof $\alpha = 45'$ und $\beta = 1^0\ 25'$ ergeben hatte. Die Ringe werden um so enger, je grösser die Dunstbläschen sind, welchen sie ihren Ursprung verdanken, wie ja auch der Hof, welchen man erblickt, wenn man durch eine mit Semen lycopodii bestreute Glasplatte nach einer Kerze schaut, grösser ist, als wenn dieselbe mit Pollenstaub von Pinus austriaca und kleiner, als wenn sie mit Pollenstaub von Taxus baccata bestreut wäre.

Nach Gleichung 2) lässt sich leicht der Durchmesser der Nebelbläschen berechnen, wenn man den Winkel gemessen hat, unter welchem der Halbmesser eines Ringes für eine bestimmte Farbe erscheint und man die Wellenlänge λ dieser Strahlenart kennt, denn man hat

$$\left.\begin{array}{ll} & d = \dfrac{\lambda}{\sin \alpha} \\ \text{und} & d = \dfrac{2\lambda}{\sin \beta} \end{array}\right\} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Für die mittleren rothen Strahlen ist $\lambda = 0{,}00066^{mm}$, wir erhalten also für den von Jordan im Jahre 1797 gemessenen Hof

$$d = \frac{0{,}00066}{0{,}0445} = 0{,}0148^{mm} \text{ und } d = \frac{2 \,.\, 0{,}00066}{0{,}0816} = 0{,}0161^{mm},$$

zwei Werthe, welche so nahe mit einander übereinstimmen, wie man es nur bei der geringen Genauigkeit erwarten darf, mit welcher die Durchmesser der Farbenringe gemessen werden können.

Für den kleineren im Jahre 1792 von Jordan beobachteten Hof ergiebt sich

$$d = \frac{0{,}00066}{0{,}013} = 0{,}0508^{mm} \text{ und } d = \frac{0{,}00132}{0{,}0247} = 0{,}0534^{mm}.$$

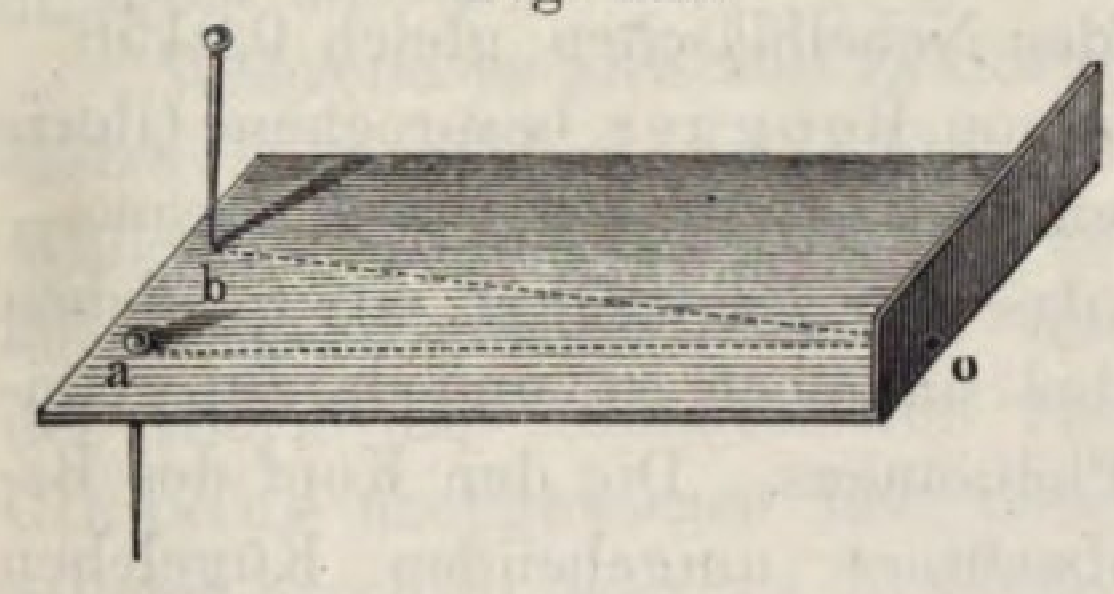
Je länger gutes Wetter angehalten hat, desto kleiner werden die Nebelbläschen; vor Regenwetter vergrössern sie sich schnell. Kämtz fand die Nebelbläschen in den Wintermonaten im Durchschnitt grösser als in den Sommermonaten.

Zur Messung der Höfe, d. h. des Durchmessers der Ringe, eignet sich nach Kämtz ein einfaches Diopterinstrument besser, als ein Spiegelsextant. Hagenbach wandte für solche Messungen ein aus Kartenpapier und Stecknadeln improvisirtes Instrument an, welches im Vergleich zur Unsicherheit beim Einstellen auf eine bestimmte Farbe eine hinlängliche Genauigkeit giebt.

Die auch in manchen anderen Fällen anwendbare Vorrichtung Hagenbach's ist in Fig. 246 dargestellt. Ein rectangulär geschnittenes Stück steifen Papiers (Carton) von 8 bis 10 Centimeter Länge wird auf der einen Seite rechtwinklig aufgebogen und bei o mit einem kleinen Loch versehen, dem gegenüber eine Stecknadel bei a eingesteckt

wird. Visirt man nun von o über den Stecknadelknopf a nach irgend einem Object A, so kann man eine zweite Stecknadel bei b so einstecken, dass sie in die von o nach einem zweiten Object B gerichtete Visirlinie fällt. Zieht man alsdann auf dem Papier die Linien oa und ob, so kann man mit dem Transporteur den Winkel messen, welchen dieselben mit einander machen und welcher dem Winkel der Visirlinien oA und oB gleich ist.

Fig. 246.



Für die Erklärung der oben besprochenen Höfe ist es völlig gleichgültig, ob die Wasserkügelchen, welche den Nebel bilden, ganz massiv, d. h. ganz mit Wasser gefüllt, oder ob sie kleine, lufthaltige, mit einer äusserst dünnen Wasserhülle umgebene Bläschen sind.

Die oben beschriebenen Höfe erscheinen, wie schon bemerkt, wenn sich ein leichter Nebel zwischen dem Beobachter und der Sonne oder dem Monde befindet. Selten kann man mehr als zwei Ringe unterscheiden, ja meistens sieht man nur einen, nämlich den innersten. Manchmal aber sieht man auch Höfe unter scheinbar ganz entgegengesetzten Umständen, wenn nämlich der Beobachter die Sonne im Rücken und eine Nebelwand vor sich hat. Der Beobachter sieht zunächst seinen riesenhaft erscheinenden Schatten auf der Nebelwand, und zwar nicht allein den des Kopfes, sondern auch den Schatten der Brust und der Arme; der Schatten des Kopfes ist aber häufig von einer Glorie umgeben, welche aus drei bis vier farbigen Ringen besteht, deren Farben ganz in derselben Ordnung auf einander folgen, wie die der oben betrachteten Höfe, welche aber weit brillanter sind, offenbar weil hier nicht ein blendend heller Körper den Mittelpunkt des Ringsystems einnimmt, sondern der Schatten des Kopfes.

Jeder Beobachter sieht nur seinen eigenen mit einer Glorie umgebenen Schatten, aber nicht den seines Begleiters.

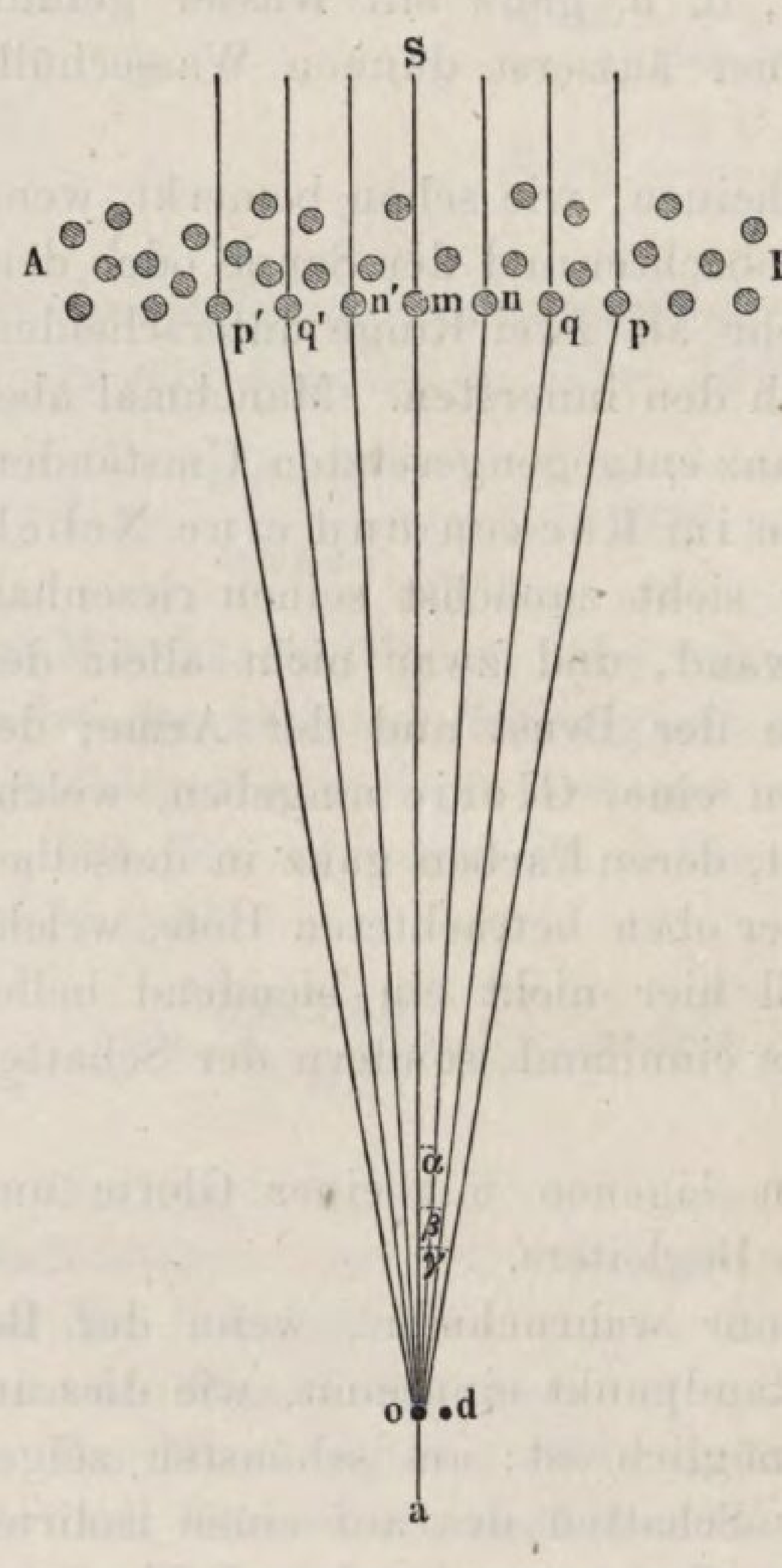
Solche Nebelbilder lassen sich nur wahrnehmen, wenn der Beobachter einen ganz freien isolirten Standpunkt einnimmt, wie dies auf dem Lande nur in Gebirgsgegenden möglich ist; am schönsten zeigen sie sich bei Sonnenaufgang, wenn der Schatten des auf einer isolirten Bergspitze oder auf einem isolirten Bergkamme stehenden Beobachters auf eine westlich von ihm befindliche Nebelwand fällt. In den Alpen sind unter anderen Pilatus, Rigi und Mythen sehr geeignete Localitäten zur Beobachtung dieser prächtigen Erscheinung, welche im Harz unter dem Namen des Brockengespenstes bekannt ist.

Ausgezeichnet schön beobachtete Scoresby das Phänomen in den Polargegenden von dem Mastkorbe der Schiffe aus. Bouguer beobachtete die Erscheinung auf den Cordilleren in Südamerika öfters. Der Durchmesser des ersten Farbenringes (ohne nähere Angabe der Farbe)

war bei einer solchen Beobachtung $5^0\ 40'$, der des zweiten 11^0 und der des vierten 17^0. Er beobachtete, dass auch bei diesem Phänomen die Durchmesser der gleichfarbigen Ringe zu verschiedenen Zeiten sehr ungleich sind. Bei einem auf dem Pilatus beobachteten Nebelbilde mit Glorie fand Hagenbach den Durchmesser des innersten rothen Ringes gleich $2^0\ 30'$, woraus sich der Durchmesser der Nebelbläschen gleich $0{,}0158^{mm}$ ergiebt. Die Nebelbläschen, welche die von Bouguer besprochene Glorie hervorbrachten, hatten wohl kaum einen halb so grossen Durchmesser.

Bouguer bemerkt ausdrücklich, dass der Beobachter einer solchen Glorie stets von einem ganz feinen Nebel umgeben ist, und darauf gründet Fraunhofer die Erklärung des Phänomens. Die den Kopf des Beobachters umgebenden Kügelchen müssen die bekannten Beugungserscheinungen hervorbringen. Es sei nun in d, Fig. 247, das Auge des Beobachters und diesem zunächst, also nahe am Kopfe des Beobachters, in o ein Dunstkügelchen, auf welches in der Richtung ao Sonnenstrahlen fallen. Diejenigen, welche den Rand treffen, werden so gebeugt, dass die Strahlen, welche den ersten rothen Ring bilden, nach on und on' fahren. Die, welche den zweiten Ring bilden, gelangen nach q und q' u. s. w. Ist im Raume AB eine dichte aus Dunstkügelchen bestehende Wolke, so wird diese das nahezu vertical auffallende Licht vorzugsweise in der Richtung zurückwerfen, in welcher es gekommen ist, das Auge in d wird die vom Kügelchen o gebeugten Strahlen ebenso zurückerhalten, wie sie auffielen und muss demnach auf der Wolke Farbenringe sehen, und zwar den ersten Ring unter dem Winkel $non' = 2\alpha$, den zweiten unter dem Winkel $qoq' = 2\beta$ u. s. w. Für alle übrigen, zunächst um den Kopf des Beobachters liegenden Kügelchen gilt dasselbe.

Fig. 247.



Die Fraunhofer'sche Erklärung der Glorie stützt sich auf die Voraussetzung, dass die Kügelchen, welche die Nebelwand AB bilden, einen namhaften Theil des Lichtes, welches sie trifft, in der nämlichen Richtung zurückwerfen, in welcher es auffiel. Für massive Wasserkügelchen ist dies durchaus nicht der Fall, denn wir wissen aus der Lehre vom Regenbogen, dass, wenn ein Bündel paralleler Sonnenstrahlen auf einen

Wassertropfen fällt, wirksame Strahlen nur in zwei Richtungen austreten, von denen die eine einen Winkel von ungefähr 42° (nach einmaliger innerer Spiegelung), die andere aber einen Winkel von ungefähr 52° (nach zweimaliger innerer Spiegelung) mit der Richtung der einfallenden Strahlen macht.

Während es also zur Erklärung der Höfe, welche wir im ersten Theil dieses Paragraphen betrachtet haben, gleichgültig ist, ob das leichte Wölkchen, welches sich zwischen der Sonne und dem Beobachter befindet, aus Wassertröpfchen oder aus Nebelbläschen besteht, ist zur Erklärung der Glorie die Annahme von Nebelbläschen durchaus nothwendig, da Clausius nachgewiesen hat, dass Nebelbläschen von einem Bündel paralleler Strahlen, welches dieselben trifft, nach einmaliger innerer Spiegelung einen namhaften Antheil des auffallenden Lichtes in der gleichen Richtung reflectirt, in welcher es gekommen war (Pogg. Ann. 88. Bd. 1853).

Fig. 248.

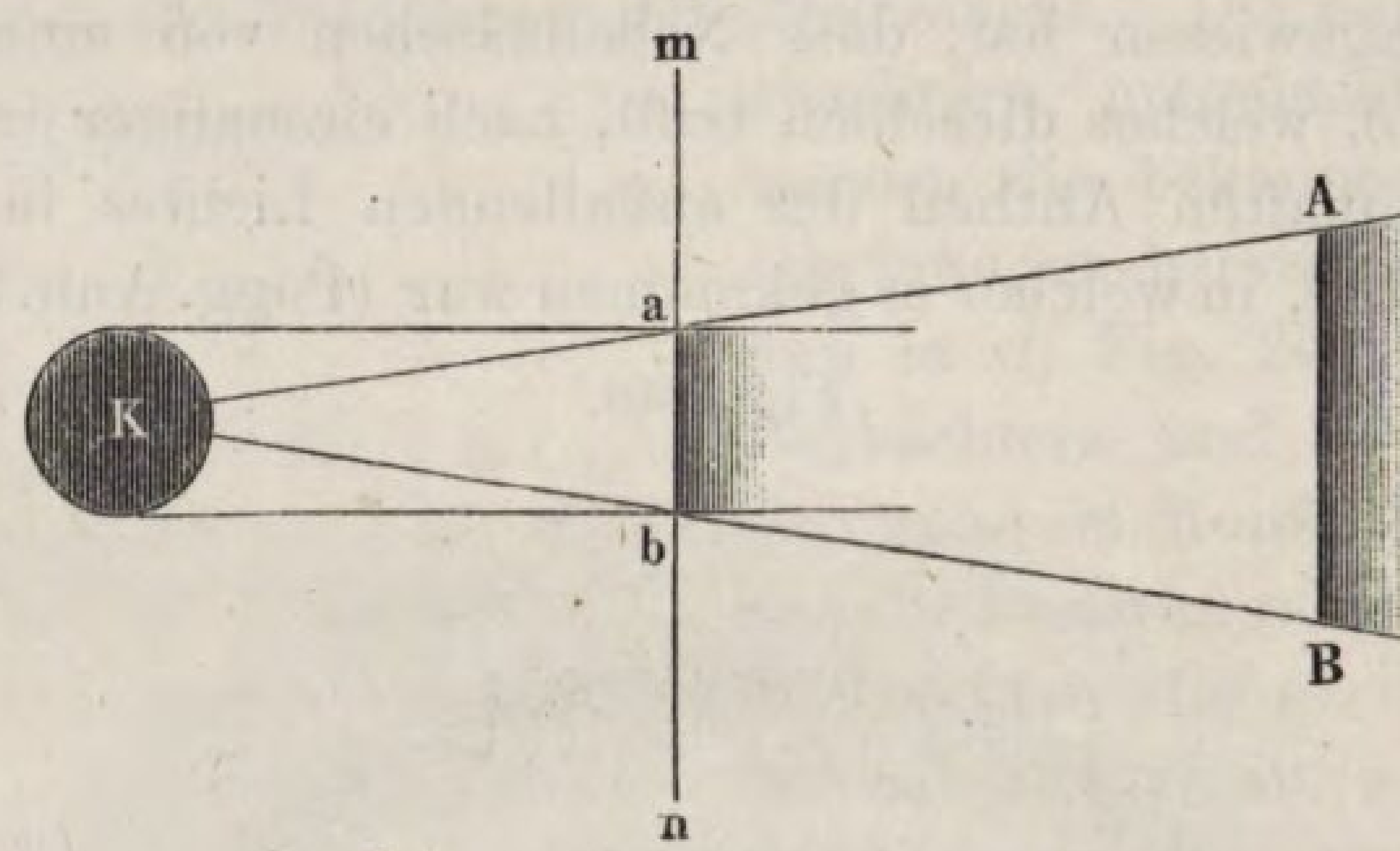


Fig. 248 zeigt den Nebelschatten nebst der ihn umgebenden Glorie nach einem Entwurf Hagenbach's. Offenbar hat man es hier mit zwei ganz verschiedenen Erscheinungen zu thun, welche allerdings gleichzeitig auftreten, aber doch ganz unabhängig von einander sind. Die farbigen Ringe der Glorie sind, wie wir gesehen haben, ein Interferenzphänomen, während die Schattenfigur wirklich nichts Anderes ist als der Schatten, welchen der Körper des Beobachters auf die Nebelwand wirft, und in der That kann dieser Schatten für sich allein ohne die Ringe erscheinen,

wenn die Nebelbläschen der den Schatten auffangenden Wand von sehr ungleicher Grösse sind.

In den meisten Fällen erscheint dem Beobachter sein Schatten von riesenhafter Grösse, was auf den ersten Blick höchst auffallend ist, da die Sonnenstrahlen den schattengebenden Körper in nahezu paralleler Richtung tangiren, der Schatten also keinen grösseren Durchmesser haben kann als der schattengebende Körper selbst. Dass der Schatten riesenhaft erscheint, kann also nur auf einer optischen Täuschung beruhen, die übrigens leicht zu erklären ist. In Fig. 249 stelle K den Kopf des Be-

Fig. 249.



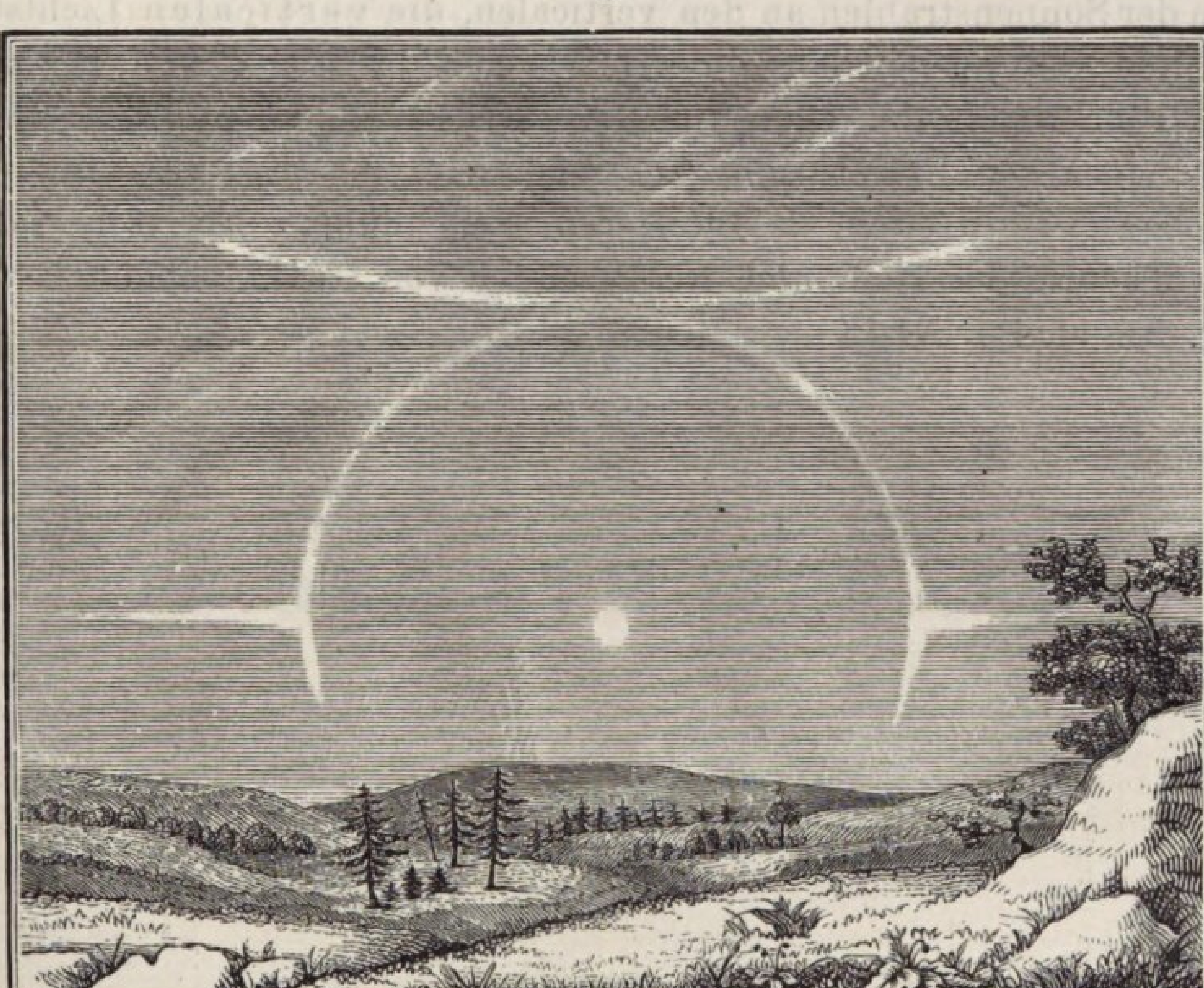
obachters und mn die vordere Fläche der den Schatten auffangenden Nebelwand dar, so wird der Schatten ab keinen grösseren Durchmesser haben als K selbst. Die Unbestimmtheit des Schattens aber und sonstige Umstände, welche die richtige Schätzung der Entfernung desselben verhindern, veranlassen, dass man ihn unwillkürlich in grössere Entfernung, etwa nach AB versetzt. Da aber der Gesichtswinkel, unter welchem der Schatten dem Beobachter erscheint, unverändert bleibt, so wird er ihn für um so grösser halten müssen, je weiter er ihm entfernt scheint.

Wenn des Morgens früh bei hellem Sonnenschein der Schatten des Beobachters auf eine stark bethaute Wiese fällt, so sieht er den Schatten des Kopfes von einer lichten Glorie umgeben, in welcher sich übrigens keine Farbenringe unterscheiden lassen. Diese Erscheinung hat manche Aehnlichkeit mit der eben besprochenen. Wenn jedoch aus der Glorie des Nebelbildes der Beweis geführt wird, dass die Nebel wirklich aus Bläschen und nicht aus Wasserkügelchen bestehen, so ist die auf bethauten Wiesen sich zeigende Erscheinung auf ein anderes Erklärungsprincip zurückzuführen; jedenfalls bedarf dieselbe noch einer eingehenderen Untersuchung.

155 **Ringe und Nebensonnen.** Ganz anderen Ursprungs als die im vorigen Paragraphen besprochenen Höfe und Glorien sind die Lichtringe, welche öfters in grösserem Abstand die Sonne oder den Mond umgeben; der Halbmesser des kleineren dieser hellen Ringe erscheint unter einem Winkel von 22 bis 23^0, der des grösseren aber unter einem

Winkel von 46 bis 47°; das Roth ist bei demselben nach innen gekehrt, der innere Rand ist schärfer, der äussere mehr verschwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten erscheinen die beiden Kreise zu gleicher Zeit. Tab. XVa stellt die Erscheinung dar, wie man sie am häufigsten zu beobachten Gelegenheit hat, nämlich den Mond umgeben mit einem weisslichen Ring von 22 bis 23° Radius. Um die Sonne wird dieser Ring seltener beobachtet; er erscheint dann meistens von einem horizontalen lichten Streifen durchschnitten, welcher in gleicher Höhe mit der Sonne sich oft bis zu dieser selbst hin erstreckt. Da, wo dieser Streifen den Lichtring durchschneidet, ist er am hellsten; diese hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am Umfange des Ringes sieht, sind die Nebensonnen; bisweilen erscheint eine solche Nebensonne auch vertical über der Sonne im Gipfel des Ringes; oder es erscheint hier ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 250 dargestellt ist. Oft sieht man die

Fig. 250.



Nebensonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebensonnen. Diese Ringe und die Nebensonnen erscheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, sondern nur, wenn derselbe mit einem Schleier überzogen ist.

Nach Sonnenuntergang sieht man öfters noch eine verticale Lichtsäule, welche von dem Orte aufsteigt, wo die Sonne unterging. Diese meist schön roth gefärbte Lichtsäule entspricht dem verticalen bis zur Sonne selbst sich fortsetzenden Nebensonnenstreifen.

Die erwähnten Ringe hat schon Mariotte durch eine Brechung des Lichts in den in der Luft schwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eis-

nadeln sechsseitige Säulen sind, so bilden immer je zwei nicht parallele und nicht zusammenstossende Seitenflächen einen Winkel von 60° mit einander, die Eisnadeln bilden also gewissermaassen gleichseitige dreiseitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung erlitten haben, sind den wirksamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen sehr nahe in derselben Richtung austreten. Diese Hypothese erklärt also zugleich die Bildung des Ringes, seine Grösse und die Anordnung der Farben.

Der Ring von 46° erklärt sich durch die Annahme, dass die Axe der Prismen in der Weise schief steht, dass der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Basis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, dessen brechender Winkel 90° beträgt, ist in der That das Minimum der Ablenkung 46°.

Den horizontalen Nebensonnenstreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenstrahlen an den verticalen, die verticalen Lichtstreifen durch Reflexion an den horizontalen Flächen der Eisnadeln. Sie sind da am hellsten, wo sie den Ring von 23° durchschneiden, weil hier zwei Ursachen stärkerer Erleuchtung zusammenwirken. Fraunhofer erklärt die Nebensonnenstreifen als Interferenzerscheinung. Am vollständigsten ist die Theorie der Höfe und Nebensonnen von Galle behandelt worden (Pogg. Annal. Bd. XLIX).

DRITTES BUCH.

DIE CALORISCHEN ERSCHEINUNGEN

AUF DER

ERDOBERFLÄCHE

UND

IN DER ATMOSPHÄRE.

Erstes Capitel.

Verbreitung der Wärme auf der Erde.

Die Meteorologie. Steigen wir aus den Himmelsräumen herab 156
auf die Oberfläche der Erde, so befinden wir uns auf einem Schauplatz, auf welchem sich nicht bloss physikalische Phänomene entwickeln, sondern auf welchem uns auch ein reiches vielgestaltetes organisches Leben entgegentritt. Zu den wichtigsten Factoren, durch welche das Leben der Pflanzen- und Thierwelt von den einfachsten und niedrigsten Formen bis zu den entwickeltsten und vollendetsten vermittelt wird, gehören ohne Zweifel die Luft, das Wasser und die Wärme.

Alles organische Leben ist durch Stoffwechsel bedingt, der Stoffwechsel hängt aber von einer gewissen Beweglichkeit der Atome ab, welche nur bei luftförmigen und tropfbaren flüssigen Körpern vorhanden ist. Die Beweglichkeit der Theilchen, ohne welche Stoffwechsel und mithin organisches Leben unmöglich ist, wird aber nur durch die Wärme erhalten. Ohne Wärme erstarren alle Flüssigkeiten und eine vollständige Erstarrung führt den Tod aller Organismen nach sich.

Während also Luft und Wasser diejenigen Stoffe sind, welche vorzugsweise als Träger des organischen Lebens bezeichnet werden müssen, erscheint uns unter allen Naturkräften keine für das organische Leben unentbehrlicher als die Wärme.

Die Wärme ist auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre nicht nur ungleich verbreitet, sondern diese Verbreitung selbst ist einem beständigen Wechsel unterworfen, welcher Luftströmungen (Winde) erzeugt und auf der einen Seite massenhafte Verdampfung des Wassers, auf der anderen Seite aber den Niederschlag des in der Atmosphäre verbreiteten Wasserdampfs bedingt, wodurch dann Wolken, Regen, Schnee u. s. w. erzeugt werden.

Der jeweilige Wärme- und Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre und die damit zusammenhängenden Erscheinungen werden gewöhnlich als Witterung bezeichnet.

Die Gesammtheit der Witterungsverhältnisse eines Ortes nennt man das Klima desselben.

Mit dem Namen der Meteorologie bezeichnet man denjenigen Zweig der Naturlehre, welcher sich mit der Untersuchung der Witterungserscheinungen und den damit zusammenhängenden atmosphärischen Phänomenen beschäftigt.

Wenn man die Meteorologie hinsichtlich der Sicherheit ihrer Resultate mit der Astronomie vergleicht, so fällt diese Vergleichung im höchsten Grade ungünstig für die Meteorologie aus.

Auf Jahrzehnte, ja auf Jahrhunderte voraus kann man den Moment berechnen, in welchem eine Sonnen- oder Mondfinsterniss beginnen und aufhören wird. Mit gleicher Sicherheit kann man die Stelle am Himmelsgewölbe vorausbestimmen, an welcher ein Planet in einem bestimmten Zeitpunkt stehen wird, so dass man jetzt ein Fernrohr so aufzustellen im Stande ist, dass ein bestimmter Planet nach zehn, ja nach hundert Jahren an einem bestimmten Tage zu einer bestimmten Stunde das Gesichtsfeld des Fernrohrs passiren muss. — Dagegen ist es meist unmöglich, die Witterung nur auf wenige Tage, oft auch nur auf wenige Stunden mit Sicherheit voraus zu bestimmen.

Wollte man aus der Vergleichung astronomischer und meteorologischer Resultate einen Schluss ziehen auf die Sicherheit unserer Erkenntniss derjenigen physikalischen Gesetze, welche beiden Disciplinen zu Grunde liegen, so würde man doch einen grossen Irrthum begehen.

Die Bewegungen der Himmelskörper sind nur durch mechanische Gesetze bedingt; die Erklärung der meteorologischen Erscheinungen müssen wir dagegen vorzugsweise in den Gesetzen der Wärmelehre suchen.

Wenn nun freilich die Mechanik die vollendetste aller physikalischen Disciplinen ist, so sind doch auch die empirischen Gesetze der Wärmelehre so fest begründet, und die mechanische Wärmetheorie ist bereits so weit ausgebildet, dass der Abstand zwischen der wissenschaftlichen Vollendung der Mechanik und der Wärmelehre keineswegs so gross ist, als es nach dem obigen Vergleich astronomischer und meteorologischer Resultate scheinen möchte.

Die Unsicherheit meteorologischer Vorausbestimmungen rührt also nicht von der Unsicherheit der physikalischen Gesetze her, welche hier in Anwendung kommen, sondern daher, dass die hier thätigen Kräfte unter den complicirtesten und stets wechselnden Verhältnissen zur Wirkung gelangen.

Die Bewegung der Planeten ist fast ausschliesslich durch die Massenanziehung der Sonne bestimmt, die Störungen, welche die Planetenbahnen durch die gegenseitige Einwirkung der Planeten unter einander erleiden,

sind äusserst gering. Wären in unserem Planetensystem zwei Sonnen vorhanden, welche um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen, wie dies bei den Doppelsternsystemen wirklich der Fall ist, so würden die Bewegungen der in diesem System etwa vorhandenen Planeten schon der verwickeltsten Art sein, und gewiss würde die Sicherheit der Vorausberechnung für ein solches System weit hinter der Sicherheit unserer Astronomie zurückbleiben, obgleich hier wie dort das Gesetz der allgemeinen Massenanziehung den Gang der Erscheinungen beherrscht.

Die Wärme auf der Erdoberfläche rührt, wie wir bald sehen werden, fast ausschliesslich von den Sonnenstrahlen her.

Wäre nun die Erdoberfläche überall ganz gleicher Natur, bestände sie z. B. mit Ausschluss alles Wassers überall aus derselben Gesteinsart ohne alle Erhebung, und wäre die Erde wie der Mond ohne Atmosphäre, so wäre der Gang der calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche ohne Zweifel von der grössten Regelmässigkeit. So aber wirken die Sonnenstrahlen bald auf Wasser, bald auf Land; bald ist der Boden ihrer Wirkung direct ausgesetzt, bald werden sie von dichten Wolkenmassen aufgehalten. Die an einem Orte durch die Sonnenstrahlen entwickelte Wärme wird durch die Luft und Meeresströmungen anderen Gegenden zugeführt. Die Wirkung der Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche wird also durch so mannigfaltige Einflüsse modificirt, die uns zum Theil nicht einmal genügend bekannt sind, dass ein einfacher mit Sicherheit voraus zu bestimmender Gang der Erscheinungen nicht möglich ist, obgleich wir im Stande sind, den Zusammenhang der meteorologischen Erscheinungen nachzuweisen.

Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen. 157
Die Erwärmung unserer Erdoberfläche und der Atmosphäre stammt fast ausschliesslich von der Sonne her; denn die eigenthümliche Wärme des Erdkörpers ist auf seiner Oberfläche nicht mehr merklich und die Wärmemenge, welche durch chemische Processe, z. B. durch Verbrennung entwickelt wird, ist verschwindend gegen die Wärmequantitäten, welche den Gang der meteorologischen Verhältnisse bedingen. Die Sonnenstrahlen allein sind es also, welche theilweise in der Atmosphäre, vorzugsweise aber von der Erdoberfläche absorbirt und in fühlbare Wärme verwandelt, die zur Erhaltung der thierischen und pflanzlichen Organismen nöthige Wärme liefern.

Die Erwärmung des Bodens hängt von der Richtung ab, in welcher die Sonnenstrahlen ihn treffen, und da diese Richtung eine nach bestimmten Gesetzen regelmässig wechselnde ist, so ist klar, dass der Erwärmungszustand der Erdoberfläche und der unteren Schichten der Atmosphäre periodischen Variationen folgen muss, und zwar haben wir eine tägliche und eine jährliche Periode im Gange der Lufttemperatur (der Temperatur der untersten Luftschichten) zu unterscheiden.

Während der Erde durch die Sonnenstrahlen Wärme zugeführt wird,

verliert sie auf der anderen Seite Wärme durch Ausstrahlung gegen die kälteren Himmelsräume. Im Allgemeinen halten sich Ein- und Ausstrahlung das Gleichgewicht, d. h. die Summe der Wärme, welche der Erde durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist derjenigen gleich, welche sie durch Ausstrahlung verliert. Dabei ist aber die Wärme über die Erdoberfläche weder gleichförmig noch unveränderlich vertheilt. Die höchste Erwärmung der Erdoberfläche und der unteren Luftschichten finden wir in den Aequatorialgegenden, während es um so kälter wird, je mehr wir uns den Polen nähern. Fassen wir aber die Temperatur irgend eines bestimmten Ortes auf der Erdoberfläche ins Auge, so zeigt sich, dass sie beständigen Schwankungen unterworfen ist, indem in Folge der veränderlichen Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche bald die Einstrahlung, bald die Ausstrahlung das Uebergewicht gewinnt.

Da nun aber die Veränderungen, welche die Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche erfährt, an zwei Perioden, eine tägliche und eine jährliche, gebunden ist, so ist klar, dass auch die Variationen der Temperatur an irgend einem Orte der Erdoberfläche eine tägliche und eine jährliche Periode befolgen müssen.

158 **Die fünf Zonen.** Für verschiedene Gegenden der Erdoberfläche sind die Insolationsverhältnisse äusserst ungleich. Innerhalb der Wendekreise, wo Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch fast gleich sind, wo die Sonne bei ihrem höchsten Mittagsstande das Zenith passirt, und wo die niedrigste Mittagshöhe mindestens 44^0 (die niedrigste Mittagshöhe der Sonne ist für die Wendekreise $43^0\ 42'$, für den Aequator $66^0\ 32'$) beträgt, wo also täglich die Sonnenstrahlen eine kräftige Wirkung ausüben können, muss auch stets eine hohe Lufttemperatur herrschen. Jener zwischen den Wendekreisen gelegene Aequatorialgürtel wird deshalb auch die heisse Zone genannt. Sie ist der Schauplatz des reichsten Thier- und Pflanzenlebens.

Die Gegenden der heissen Zone werden auch die Tropen genannt, weil sie zwischen den Wendekreisen, den circulis tropicis, liegen.

Den Gegensatz der heissen Zone bilden die Umgebungen der Pole.

Innerhalb der beiden von den Polarkreisen ($66^0\ 32'$ nördlicher und südlicher Breite) begrenzten Kugelabschnitte kommt die Sonne Tage, Wochen, Monate lang gar nicht über den Horizont, und auch dann nur, um in sehr schräger Richtung den Boden zu bescheinen; hier also kann nur eine geringe Wärmeentwickelung stattfinden und hier starrt deshalb auch fast das ganze Jahr hindurch die Natur in Schnee und Eis.

Der von dem nördlichen Polarkreis eingeschlossene Raum wird die nördliche, der von dem südlichen Polarkreis eingeschlossene Raum wird die südliche kalte Zone genannt.

Der Gürtel zwischen dem nördlichen Wendekreis und dem nördlichen Polarkreis bildet die nördliche gemässigte Zone, gleichwie die südliche gemässigte Zone sich vom südlichen Wendekreis bis zum süd-

lichen Polarkreis erstreckt. Je mehr man in diesen gemässigten Zonen gegen die Polarkreise vordringt, desto mehr nähern sich die Temperaturverhältnisse denen der kalten Zonen.

Im Allgemeinen also sind die Temperaturverhältnisse eines Ortes eine Function seines Abstandes vom Aequator, also seiner geographischen Breite, und wenn sie nur von den Insolationsverhältnissen bedingt wären, wenn nicht andere Factoren modificirend einwirkten, so müsste die mittlere Lufttemperatur gleich sein für alle Orte gleicher geographischer Breite. Wir werden bald sehen, dass, und warum dies nicht der Fall ist.

Die tägliche Periode. Wenn die Sonne, nachdem sie am öst- 159
lichen Himmel aufgegangen ist, höher und höher über den Horizont sich erhebt, so muss die immer kräftiger wirkende Insolation ein Steigen der Lufttemperatur zur Folge haben. Wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht hat, so ist jedoch die Temperatur der Erdoberfläche noch keineswegs so hoch gestiegen, dass sie eben so viel Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlen könnte, als sie durch die Sonnenstrahlen empfängt. Deshalb dauert das Steigen der Temperatur noch über Mittag fort, und erst 1 bis 2 Stunden nach der Culmination der Sonne, wenn ihre Höhe schon merklich abgenommen hat, tritt ein momentaner Gleichgewichtszustand zwischen Ein- und Ausstrahlung ein, das Maximum der täglichen Temperatur findet deshalb erst um 1 bis 2 Uhr Nachmittags Statt. Von da an aber gewinnt bei immer mehr sinkender Sonne die Ausstrahlung das Uebergewicht, die Temperatur sinkt anfangs langsam, dann rascher in den Abendstunden. Während der Nacht, wo gar keine Einstrahlung stattfindet, dauert das Sinken der Temperatur mit abnehmender Schnelligkeit fort, bis sie zur Zeit des Sonnenaufganges ihr Minimum erreicht hat.

Da im Sommer die Sonnenhöhen im Laufe des Tages zwischen weiteren Gränzen variiren (zwischen 0 und 63° für das mittlere Deutschland), als im Winter (zwischen 0 und 17° für den 50. Breitegrad), so ist klar, dass die Gränzen, zwischen welchen die Temperatur im Laufe eines Tages schwankt, im Sommer weiter auseinander liegen als im Winter. In der That beträgt z. B. für München die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur des Tages im Monat Januar im Durchschnitt nur 2° C., während im Juli das tägliche Maximum durchschnittlich 6,2° höher ist als das tägliche Minimum.

Aus ähnlichen Gründen müssen nun auch die täglichen Temperaturschwankungen in den Aequatorialgegenden viel bedeutender sein als in höheren Breiten. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt; so beobachtete z. B. Barth auf seiner Reise in das Innere von Afrika vom Aufgang der Sonne bis zum Nachmittag oft ein Steigen von 6 auf 30, ja von 8 auf 43° Celsius.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung allerdings die Resultate

unserer obigen Raisonnements über den täglichen Gang der Wärme, sobald wir aber einzelne Tage herausgreifen, finden wir häufig solche Störungen des normalen Ganges, dass das Gesetz vollständig verwischt erscheint.

Von der Natur dieser Störungen und ihrer Ursachen wird weiter unten die Rede sein.

160 **Die Jahreszeiten.** Die Sonne theilt nicht allein mit dem ganzen Himmelsgewölbe die tägliche Umdrehung, sondern sie legt im Lauf eines Jahres am Himmelsgewölbe eine Bahn zurück, welche zur Hälfte nördlich, zur anderen Hälfte südlich von dem Himmelsäquator liegt. Eine Folge davon ist, dass wenigstens in den gemässigten Zonen Tagesdauer und Mittagshöhe der Sonne ein halbes Jahr lang zunehmen, um dann in der folgenden Jahreshälfte in gleicher Weise wieder abzunehmen. Dies hat dann den regelmässigen Wechsel der Jahreszeiten zur Folge, deren Verlauf wir zunächst für die geographische Breite des mittleren Deutschlands betrachten wollen.

Am 21. März passirt die Sonne den Himmelsäquator, um von der südlichen auf die nördliche Himmelskugel überzugehen. Tag und Nacht sind gleich lang, und die Mittagshöhe, zu welcher die Sonne ansteigt, beträgt 40^0. Nun aber findet eine rasche Zunahme der Mittagshöhe der Sonne sowohl wie auch der Tagesdauer Statt; bei immer kräftiger werdender Insolation bleibt der Boden nun länger und länger dem erwärmenden Einfluss der Sonnenstrahlen ausgesetzt, die Lufttemperatur muss also steigen.

Allmälig wird die Zunahme der Tagesdauer und der Mittagshöhe langsamer, bis endlich am 21. Juni die Sonne ihre grösste nördliche Breite erreicht, und somit auch der längste Tag von 16 Stunden und die grösste Mittagshöhe der Sonne von $63^1/_2$ Graden eintritt.

Aus demselben Grunde, warum das tägliche Maximum der Temperatur nicht auf die Mittagsstunde fällt, tritt auch das jährliche Temperaturmaximum nicht mit dem längsten Tage ein, sondern später, so dass im Durchschnitt der Juli der heisseste Monat ist.

Nach dem längsten Tage nimmt die Tagesdauer und die Mittagshöhe der Sonne erst langsam, dann rascher ab, und mit der rascheren Abnahme beider stellt sich dann auch ein Sinken der Luftwärme ein. Am 22. September, dem Herbstäquinoctium, passirt die Sonne abermals den Himmelsäquator, um auf die südliche Hemisphäre der Himmelskugel überzugehen. Nun werden die Nächte länger als der Tag, die Mittagshöhe der Sonne nimmt mehr und mehr ab, bis sie am 21. December, als am kürzesten Tage (von 8 Stunden) ihr Minimum von 17 Grad erreicht. Unter diesen Umständen, da die Wirkung der ohnehin sehr schräg auffallenden Sonnenstrahlen nur auf wenige Stunden beschränkt bleibt, und der Boden die lange Nacht hindurch Wärme durch Ausstrahlung verliert, muss die Lufttemperatur bedeutend sinken; doch tritt das Minimum der Jahrestemperatur in der Regel erst gegen die Mitte des Januars ein, da unmittelbar

nach dem kürzesten Tage die Zunahme der Tageslänge und der Mittagshöhe der Sonne noch zu unbedeutend ist, um ein Steigen der Temperatur bewirken zu können.

So ist denn im Allgemeinen der Gang der Lufttemperatur im Laufe des Jahres für Deutschland folgender: Von der Mitte Januar an steigt die Temperatur bis gegen die Mitte Juli, um von da allmälig bis zur Mitte Januar wieder abzunehmen. Das Steigen und Fallen der Temperatur ist am langsamsten vor und nach der Zeit des jährlichen Maximums und Minimums, am raschesten um die Zeit der Aequinoctien.

Die drei heissesten Monate, Juni, Juli und August, bilden den Sommer, die Zeit, in welcher die kräftigste Entwickelung der Vegetation vor sich geht. Den Winter bilden die drei kältesten Monate, December, Januar und Februar, während welcher die Vegetation fast gänzlich ruht. Während des Frühlings, März, April und Mai, findet ein allmäliges Erwachen, während des Herbstes, September, October und November, ein allmäliges Absterben der Pflanzenwelt Statt.

Die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heissesten und des kältesten Monats beträgt für Deutschland im Durchschnitt 16^0 R.

Der oben beschriebene Wechsel der Jahreszeiten bezieht sich auf Länder mittlerer geographischer Breite; in höheren wie in niederen Breiten gestaltet sich die Sache wesentlich anders.

Unter höheren Breiten wird die Dauer des kürzesten Tages immer geringer, die Sonnenhöhe immer unbedeutender, die Winterkälte muss also gegen die Pole hin immer zunehmen; zugleich aber nimmt die Dauer des Winters zu, denn während der Aequinoctialperiode ist die Wirkung der Sonnenstrahlen in jenen Ländern noch viel zu gering, um Eis und Schnee zu schmelzen oder das Gefrieren des Wassers zu verhindern, der Winter erstreckt sich also noch über einen Theil der Monate, welche bei uns den Frühling und den Herbst ausmachen. Im Sommer aber wird die im Vergleich zu unseren Gegenden geringere Mittagshöhe der Sonne durch die längere Dauer der Sommertage nahezu wieder ausgeglichen (unter dem 60. Breitengrade z. B., welcher ungefähr über Petersburg und Stockholm geht, ist der längste Tag $18^1/_2$ Stunde, die höchste Mittagshöhe der Sonne $53^1/_2{}^0$), so dass die Sommerhitze immer noch eine sehr bedeutende werden kann. In jenen Gegenden herrscht also ein langer kalter Winter, welcher rasch in einen heissen kurzen Sommer übergeht, so dass die Uebergangs-Jahreszeiten, Frühling und Herbst, mehr und mehr verschwinden.

Innerhalb der Polarkreise fallen endlich die Sonnenstrahlen selbst zur Zeit der grössten Sonnenhöhe noch so schräg auf, dass sie trotz der langen Tagesdauer keine kräftige Erwärmung hervorbringen können; statt des Sommers tritt nur eine mehr oder weniger bedeutende Unterbrechung in der Strenge der Winterkälte ein.

Wenden wir uns von Deutschland aus zu den südlicheren Ländern, so muss dort aus zweierlei Gründen der Winter immer milder werden,

denn einmal erreicht die Sonne selbst zur Zeit des Wintersolstitiums noch eine ziemlich bedeutende Mittagshöhe (unter dem 30. Breitengrade z. B. noch $36^1/_2{}^0$), während zugleich die Dauer der Wintertage grösser ist als bei uns (für den 30. Breitengrad z. B. ist die Dauer des kürzesten Tages 10 Stunden 4 Minuten). Während so die Winterwärme steigt, wächst die Sommerwärme nicht in gleichem Maasse, denn die Wirkung der grösseren Sonnenhöhe wird dadurch zum Theil neutralisirt, dass die Sommertage nicht so lang sind als bei uns.

Die Differenz zwischen Sommer- und Wintertemperatur muss also um so mehr abnehmen, je mehr wir uns von den Polen aus den Wendekreisen nähern.

Innerhalb der Wendekreise aber verschwindet der Charakter unserer Jahreszeiten fast ganz. Auf dem Aequator passirt die Sonne zweimal, im März und September, das Zenith, während die niedrigste Mittagshöhe der Sonne (Ende Juni und December) noch $66^1/_2{}^0$ beträgt. Bedenkt man ferner, dass auf dem Aequator das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht gleich sind, so begreift man leicht, dass die jährlichen Temperaturvariationen für die Aequatorialgegenden nur sehr unbedeutend sein können.

Vom Aequator aus gegen die Wendekreise hin wird allmälig der Charakter unserer Jahreszeiten wieder merklich, während er erst in den gemässigten Zonen entschieden zur Geltung kommt.

In den südlichen gemässigten Zonen wechseln die Jahreszeiten wie bei uns, nur ist begreiflich dort Winter, wenn wir Sommer haben und umgekehrt.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung die Resultate der obigen Betrachtung. So beträgt z. B. die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heissesten und des kältesten Monats für

Quito	1,4° R.
Havannah . . .	4,5
Mexico	6,3
Palermo	11,1
Rom	13,7
München . . .	15,6
Prag	18,6
Moskau	23,5
Irkutzk	30,3
Jakutzk	50,8.

161 **Modificationen normaler Temperaturverhältnisse.** Die durch die Attraction der Sonne vorgeschriebene Bahn eines jeden Planeten wird durch den störenden Einfluss der übrigen kaum alterirt, die Störungen spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. Anders ist es mit den klimatischen Verhältnissen. Allerdings ist der Erwärmungs-

zustand der unteren Luftschichten eine Function der Insolationsverhältnisse, aber eine Function, in welcher mehrere mannigfach wechselnde Factoren eintreten, so dass die Störungen den regelmässigen Gang oft gänzlich maskiren. Wäre die Natur der Erdoberfläche überall dieselbe (d. h. fehlte die Abwechselung zwischen Wasser und Land, zwischen Berg und Thal, zwischen bewaldetem und pflanzenleerem Boden), würde die Wirkung der Insolation nicht durch wechselnde Bewölkung des Himmels modificirt, und würde die Wärme nicht durch Luft- und Meeresströmungen von einem Orte zum anderen fortgeführt, so müssten nicht allein alle Orte gleicher geographischen Breite gleiche klimatische Verhältnisse haben, sondern es müssten auch die täglichen und jährlichen Variationen der Lufttemperatur vollkommen regelmässig verlaufen.

Dem ist aber in der That nicht so. — So hat z. B. Neapel eine mittlere Jahreswärme von 12,25^0, während bei gleicher nördlicher Breite Newyork nur eine mittlere Jahreswärme von 8,7^0 hat. Christiania und Quebec haben fast gleiche mittlere Jahreswärme (4,2 und 4,4^0) und doch liegt Quebec um mehr als 13 Breitegrade südlicher als Christiania. Ebenso ist an einem und demselben Orte der Gang der Wärme von einem Jahr zum anderen sehr verschieden, und demselben Jahrestag entspricht keineswegs stets dieselbe Temperatur, wie es sein müsste, wenn die Luftwärme allein vom Sonnenstande abhinge. So war z. B. zu Frankfurt am Main — 14^0 R. die mittlere Temperatur des 22. Januar 1850, + 8,5^0 R. die desselben Tages im Jahre 1846. — Im Jahre 1846 war zu Frankfurt am Main der 22. Januar um 2^0 wärmer als der 14. Mai. Ebendaselbst fiel im Jahre 1841 der heisseste Tag auf den 24. Mai (mit 20^0 R.), im Jahre 1842 aber auf den 19. August (mit 21^0 R.).

Solche Anomalien zeigen deutlich, wie sehr die Luftwärme ausser den Insolationsverhältnissen noch von anderen mächtig influirenden und veränderlichen Factoren bedingt wird. Wenn am 22. Januar 1846 zu Frankfurt am Main eine Wärme von 8$^1/_2{}^0$ R. herrschte, so konnte diese hohe Temperatur unmöglich direct durch die Sonnenstrahlen hervorgerufen sein, und zwar um so weniger, als jener Tag ein durchaus bewölkter Regentag war; die damals herrschenden Südwestwinde hatten die Wärme offenbar aus südlicheren Gegenden zugeführt; eben so wie die verhältnissmässig niedrige Temperatur des 14. Mai 1846 nur das Resultat rauher Nordostwinde war.

Somit ist denn klar, dass theoretische Betrachtungen nicht genügen, um die klimatischen Verhältnisse eines Landes zu bestimmen oder den Gang der täglichen oder jährlichen Temperaturschwankungen zu ermitteln. Die wahre Vertheilung der Wärme auf der Erdkugel lässt sich nur durch zahlreiche, Jahre lang fortgesetzte Beobachtungen genügend ermitteln. Humboldt hat hier den für alle Naturwissenschaften einzig und allein zur Wahrheit führenden Weg der Induction zuerst mit Erfolg betreten. Auf seinen Reisen auf beiden Hemisphären hat er mit unermüdlichem Eifer zahlreiche Thatsachen gesammelt, und durch geistreiche

Combinationen dieser Thatsachen zuerst eine wissenschaftliche Meteorologie begründet.

162 **Thermometer-Beobachtungen.** Um durch die Beobachtung des Thermometers den Gang der Lufttemperatur für irgend einen Ort kennen zu lernen, bedarf es vor allem guter und zweckmässig aufgestellter Thermometer.

Die zu meteorologischen Beobachtungen dienenden Thermometer sind fast ausschliesslich Quecksilberthermometer. Nur in Ausnahmefällen, wenn die Temperatur nahe bis zum Gefrierpunkt des Quecksilbers oder selbst noch unter denselben fällt, müssen Weingeistthermometer angewendet werden.

Früher waren zu meteorologischen Beobachtungen fast ausschliesslich Thermometer mit Reaumur'scher Scala angewandt worden, in neuerer Zeit aber wird die, ohnedem bei allen übrigen wissenschaftlichen Untersuchungen allgemein benutzte 100theilige Scala mehr und mehr auch bei meteorologischen Beobachtungen eingeführt, wie dies z. B. bei den meteorologischen Stationen der Schweiz, Badens und Russlands der Fall ist. Die Thermometer dieser Stationen sind mit Scalen auf Beinglas versehen, deren Grade noch in fünf gleiche Theile getheilt sind, so dass man fast auf 100tel Grade genau ablesen kann.

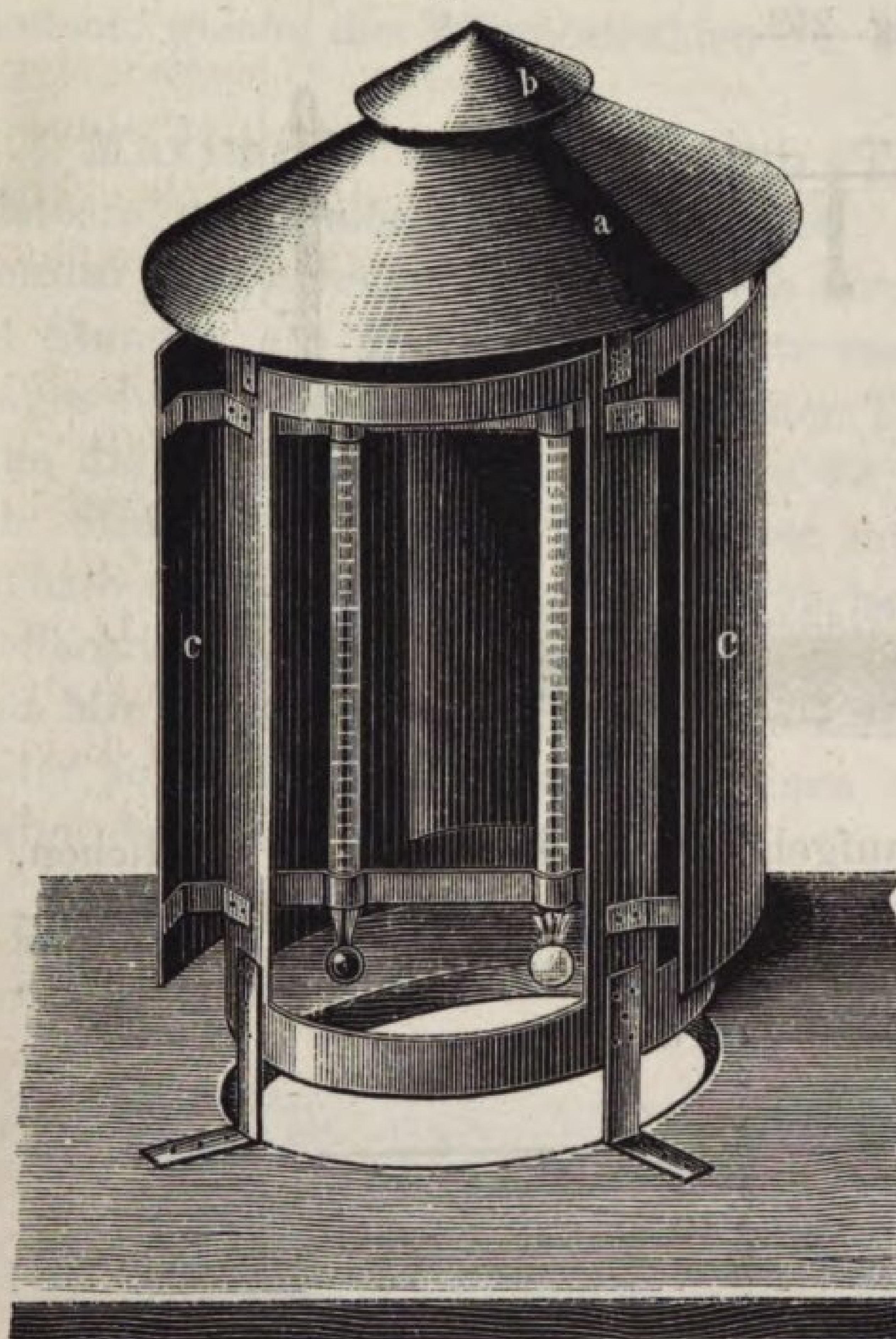
Damit die Thermometer wirklich die Temperatur der freien Luft angeben, müssen sie durch ihre Aufstellung sorgfältig vor allen störenden Einflüssen geschützt sein, was die societas palatina zu Mannheim schon im Jahre 1781 durch folgende Bestimmungen zu erreichen suchte: Das Thermometer soll ausserhalb des Zimmers frei, d. h. etwas entfernt sowohl vom Boden als von den Wänden des Gebäudes so aufgehängt werden, dass ihm zwar gegen Norden ein freier Horizont geboten ist, aber sowohl die directen als auch die reflectirten Sonnenstrahlen von ihm abgehalten sind. Beim Ablesen soll man sich hüten, den Stand weder durch den Rauch der Lampe, noch durch den Athem zu verändern.

Die Thermometer der schweizerischen meteorologischen Stationen befinden sich in einem Blechgehäuse, Fig. 251, welches unten offen, oben aber von einem conischen Dach *a* überdeckt ist, über dessen obere Oeffnung ein zweites conisches Dächlein *b* so angebracht ist, dass zwischen *a* und *b* noch ein freier Zwischenraum bleibt. Die Vorderseite des Gehäuses ist durch eine in unserer Figur weggelassene Thür verschliessbar, welche nur behufs der Beobachtung geöffnet wird. Rechts und links ist die Wand des Gehäuses durchbrochen, aber ungefähr ein Zoll vor der Oeffnung ist ein Blech *c* angebracht, welches etwas grösser ist als die Oeffnung selbst. Eine in ähnlicher Weise geschützte Oeffnung befindet sich auf der Rückseite des Gehäuses.

Auf diese Weise ist das Thermometer sowohl vor Schnee und Regen als auch vor jeder directen Strahlung geschützt, während ein freier Luftzug nach allen Seiten hin gesichert ist. Aber das Gehäuse selbst darf

nicht von den directen Sonnenstrahlen getroffen werden, weil es sich sonst stark erhitzen würde. Da aber selbst eine freie nach Norden gerichtete Wand im Sommer Morgens und Abends von den Sonnenstrahlen getroffen wird, so muss durch leichte, etwa 2 Fuss entfernte Bretter dafür gesorgt sein, dass das Gehäuse mindestens $2^1/_2$ Stunden vor der Ablesung nicht von der Sonne beschienen werden kann. Es versteht sich von selbst, dass das nach Norden gelegene Zimmer, vor dessen Fenster das Thermometer aufgestellt ist, im Winter nicht geheizt werden darf, und dass das Fenster gleich nach gemachter Ablesung wieder geschlossen werden muss.

Fig. 251.



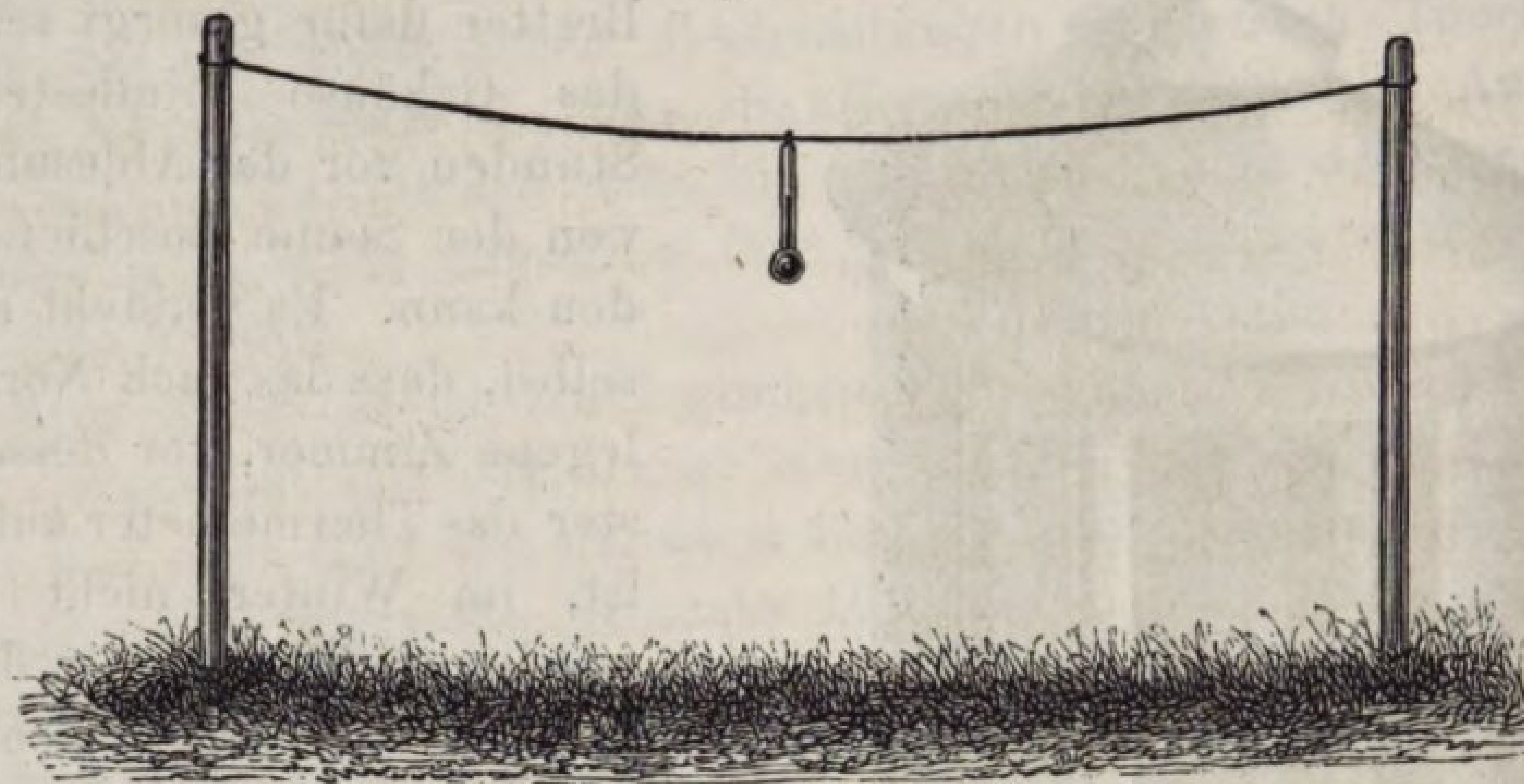
Noch besser als die eben besprochene Aufstellung vor einem nach Norden gelegenen Fenster ist die folgende: Das Blechgehäuse, welches in diesem Falle auch rechteckig sein kann, und durch jalousieartige Wände gebildet wird, kommt in ein rechteckiges, von 4 Pfählen getragenes in allen Dimensionen um mindestens 60 Centim. grösseres Gehäuse von leichten Brettern zu stehen, welches nach Norden offen, auf der unteren Seite bloss mit zwei Holzleisten zum Tragen des Blechkastens versehen ist. Es soll dasselbe an einer ringsum freien Stelle, womöglich 3 Meter über dem Erdboden sich befinden. Behufs der Ablesung wird eine feste oder bewegliche Treppe an das Gerüst gestellt (Wild, Instruction für meteorologische Stationen in Russland).

Ausser dem Thermometer, an welchem die Lufttemperatur abgelesen wird, befinden sich in dem Blechgehäuse noch andere Instrumente, von denen später die Rede sein wird.

Lamont (Jahresb. der Münchener Sternwarte für 1852) machte die auf den ersten Blick überraschende Beobachtung, dass ein Thermometer, welches auf einem ganz freien Grasplatz (nicht auf einer nackten Sandfläche), entfernt von Gebäuden und Bäumen, aufgehängt, also nicht bloss dem Luftzuge, sondern auch den Strahlen der Sonne, wenn dieselbe scheint, ausgesetzt ist, eine Temperatur zeigt, welche nur wenig von der Lufttemperatur im Schatten abweicht. Zwischen zwei 8 Fuss hohen Stangen, Fig. 252 (a. f. S.), war ein dünner Draht ausgespannt, an

welchem ein Thermometer mit auf das Rohr eingeätzter Scala mittelst Bindfaden ganz kurz angebunden war. Zwei Jahre lang (1850 und 1851) wurde der Stand dieses Thermometers von Morgens 7 Uhr bis Abends 6 Uhr von Stunde zu Stunde beobachtet und mit dem gleich-

Fig. 252.



zeitigen Stande eines im Schatten aufgehängten Thermometers verglichen. Die folgende Tabelle enthält die mittlere Differenz des Sonnenthermometers von der Temperatur im Schatten für die Stunden 7 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags und 6 Uhr Abends im Jahre 1850.

	7 Uhr.	12 Uhr.	6 Uhr.
Januar	— 0,05° R.	— 0,06° R.	— 0,08° R.
Februar	0,09	0,66	0,01
März	— 0,06	0,87	— 0,19
April	0,00	0,13	— 0,21
Mai	— 0,08	0,27	0,03
Juni	— 0,38	0,40	— 0,28
Juli	— 0,39	— 0,07	— 0,06
August	— 0,22	0,32	— 0,14
September	— 0,09	0,72	— 0,64
October	— 0,34	0,24	— 0,43
November	— 0,14	0,18	— 0,04
December	— 0,13	0,46	— 0,16
Mittel	— 0,15	0,34	— 0,18

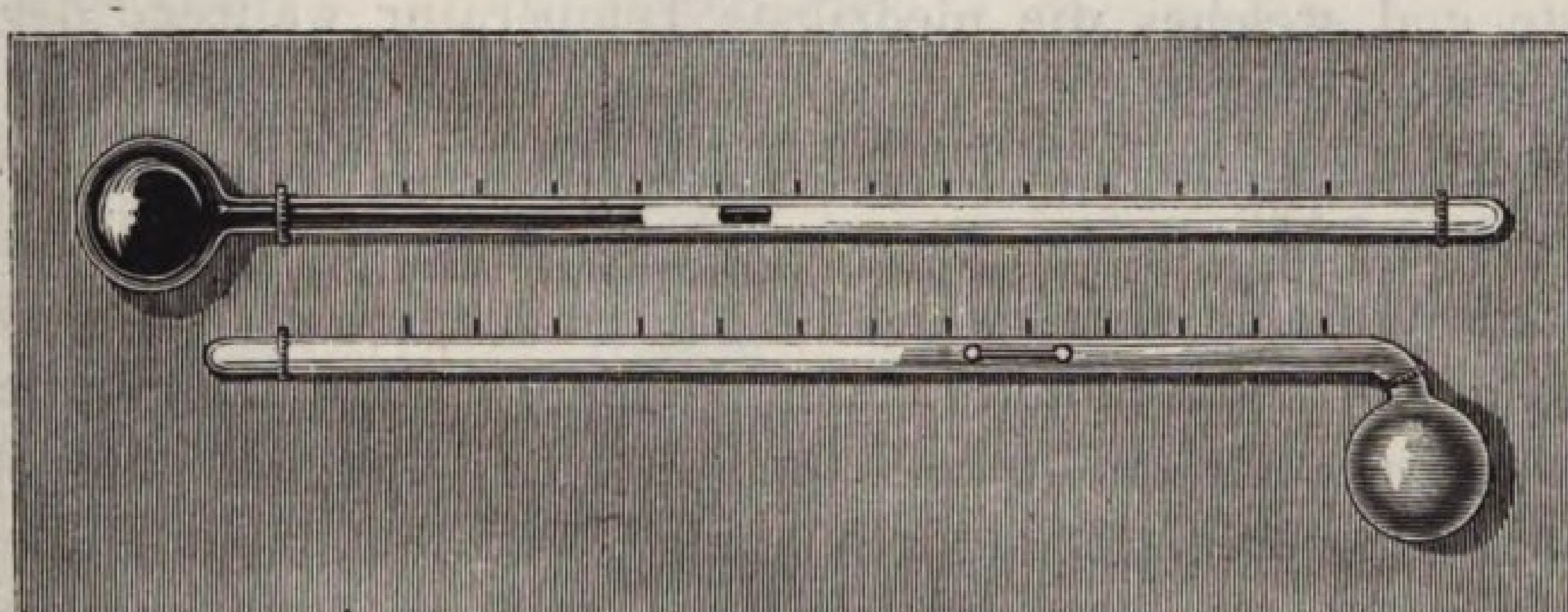
Es findet also an der Thermometerkugel eine fast vollständige Reflexion der Sonnenstrahlen Statt.

Ganz andere Resultate erhält man freilich, wenn man das Thermometer an einer von den Sonnenstrahlen beschienenen Wand aufhängt oder es dicht über nacktem, von der Sonne beschienenem Sandboden anbringt. Unter solchen Umständen kann das Thermometer bis auf 40⁰ R. und darüber steigen, es ist dies aber die Temperatur der Wand oder des Bodens, welche die Wärmestrahlen der Sonne stark absorbiren.

Maximum und Minimum-Thermometer. Es ist für die 163
Meteorologie vielfach von Wichtigkeit, die höchste und niedrigste Temperatur zu kennen, welche innerhalb einer gegebenen Zeit, etwa innerhalb 24 Stunden geherrscht hat. Wollte man die Temperaturextreme eines Tages durch Beobachtung gewöhnlicher Thermometer ermitteln, so müsste man die Temperatur immer nach je 30 Minuten, oder doch mindestens alle Stunde beobachten, ein äusserst mühsames und zeitraubendes und deshalb für die Dauer nicht durchführbares Geschäft. Man hat deshalb vielfach versucht, Instrumente zu construiren, welche gestatten, das Maximum und Minimum der Temperatur abzulesen, welche zwischen zwei auf einander folgenden Beobachtungsterminen stattgefunden hat. Wir wollen einige derselben näher betrachten.

Rutherford's schon 1794 construirter Thermometrograph ist in Fig. 253 abgebildet. Er besteht aus zwei Thermometern, deren Röhren

Fig. 253.



wagerecht liegen, und von denen das eine ein Quecksilberthermometer, das andere ein Weingeistthermometer ist. In der Röhre des Quecksilberthermometers liegt ein Stahlstiftchen, welches durch die Quecksilbersäule fortgeschoben wird, wenn sich das Quecksilber in der Kugel dieses Thermometers ausdehnt; wenn nun aber das Thermometer erkaltet, so zieht sich die Quecksilbersäule wieder zurück, das Stahlstäbchen aber bleibt an der Stelle liegen, bis zu welcher es bei dem höchsten Stande des Thermometers geschoben worden war; ein solches Thermometer giebt also das Maximum der Temperatur an, welches innerhalb einer gewissen Periode geherrscht hat.

In der Röhre des Weingeistthermometers liegt ein ganz feines Glasstäbchen, welches an beiden Enden etwas dicker ist, wie man Fig. 253 deutlich sieht; das Glasstäbchen liegt noch in dem Weingeistsäulchen,

und wenn der Weingeist in der Kugel erkaltet und sich die Weingeistsäule in der Röhre bis an das erste Knöpfchen des Glasstäbchens zurückgezogen hat, so wird bei fernerem Sinken der Temperatur das Glasstäbchen in Folge der Adhäsion zwischen Weingeist und Glas von der noch weiter sich zurückziehenden Weingeistsäule mitgenommen; wenn aber die Flüssigkeit in der Kugel wieder wärmer wird, so geht beim Steigen des Thermometers die Flüssigkeit an dem Stäbchen vorbei, ohne es fortzuschieben; das Stäbchen, welches von dunkelfarbigem Glase gemacht sein muss, damit man es deutlich sehen kann, bleibt also an der Stelle liegen, welche dem Minimum der Temperatur entspricht, die innerhalb eines gewissen Zeitraumes herrschte.

Während die Kugel des einen Thermometers auf der rechten Seite liegt, liegt die des anderen links; wenn man nun den ganzen Apparat etwas nach der linken Seite neigt und leise daran stösst, so fällt das Stahlstäbchen durch sein Gewicht bis auf die Quecksilbersäule, das Glasstäbchen aber bis an das Ende der Weingeistsäule. Wenn man das so vorgerichtete und wieder horizontal gestellte Instrument stehen lässt, so wird bei jedem Steigen der Temperatur das Stahlstäbchen fortgeschoben, das Glasstäbchen aber bei jedem Sinken der Temperatur zurückgezogen.

Dieses Instrument ist besonders geeignet, um das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur anzugeben. Wenn man es etwa jeden Abend in Stand setzt, so kann man den folgenden Abend ablesen, welches die höchste und welches die niedrigste Temperatur während der letzten 24 Stunden war.

Fig. 254 stellt das von Bellani und Bunten verbesserte Six'sche Maximum- und Minimum-Thermometer dar. An das Thermometergefäss d setzt sich die etwas weite heberförmig gebogene Röhre nop an, welche auf der anderen Seite mit dem Gefäss q endigt. Der untere Theil der umgebogenen Röhre enthält Quecksilber. Das Gefäss d und der linke Schenkel der heberförmig gebogenen Röhre bis auf das Quecksilber herab ist mit Weingeist gefüllt, wie denn auch in dem Schenkel rechts auf dem Quecksilber wieder eine Weingeistsäule aufsitzt. Das oben zugeschmolzene Gefäss q enthält Luft. Jeder Schenkel der Röhre enthält in dem mit Weingeist gefüllten Theile einen Index, welcher aus einem kurzen Emailröhrchen besteht, in welches ein schwach federndes Stahldrähtchen eingeschmolzen ist. Um das Instrument in Stand zu setzen, werden die Indices mittelst eines von Aussen an die Röhre gehaltenen Magnetstäbchens bis auf den Gipfel der Quecksilbersäule herabgezogen. Steigt nun die Temperatur, so wird der Index b in die Höhe geschoben, während a wegen der Reibung des Drahtes an seiner Stelle stehen bleibt und den Weingeist an seinem Umfang vorbeigehen lässt. Sobald die Temperatur wieder zu sinken beginnt, bleibt b stehen, während a in die Höhe geschoben wird, sobald das Quecksilber im Schenkel links den Index a erreicht hat und nun die Temperatur noch zu sinken fortfährt. Der Index a giebt also das Minimum, b giebt das Maximum der Tempe-

ratur während der letzten 24 Stunden an, wenn das Instrument jeden Abend beobachtet und die Indices wieder auf das Quecksilber herabgezogen werden.

Das Rutherford'sche Instrument kommt ebenso wie das Six'sche leicht in Unordnung. Bei weitem zuverlässiger ist das Metall-Maximum- und Minimum-Thermometer von Herrmann und Pfister in Bern. Es besteht aus einem ungefähr 1 Meter langen, 1 Centimeter breiten und 1,25 Millimeter dicken Stahlstreifen, auf welchem seiner ganzen Länge nach ein Messingstreifen von gleichen Dimensionen aufgelöthet ist. Dieser Metallstreifen ist dann derart zu einer Spirale *s*, Fig. 255, gebogen, dass der Stahl die äussere, das Messing die innere Seite der einzelnen Windungen bildet. Um das Rosten zu verhindern, wird die ganze Spirale vergoldet. Das innere Ende der Spirale ist in einen festen Metallzapfen *a* eingesetzt, während das äussere Ende *b* frei bleibt. Bei einer bestimmten Temperatur nimmt *b* auch eine bestimmte Stellung ein; wird es wärmer, so dehnt sich das Messing stärker aus als der Stahl und in Folge dessen wird das freie Ende *b* der Spirale nach links bewegt, während es bei sinkender Temperatur nach rechts geht.

Fig. 254.

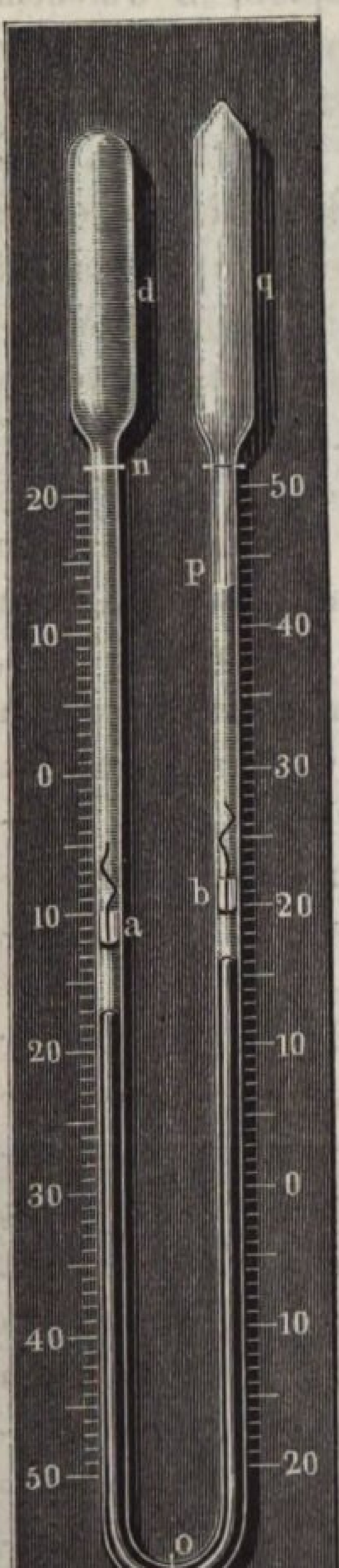
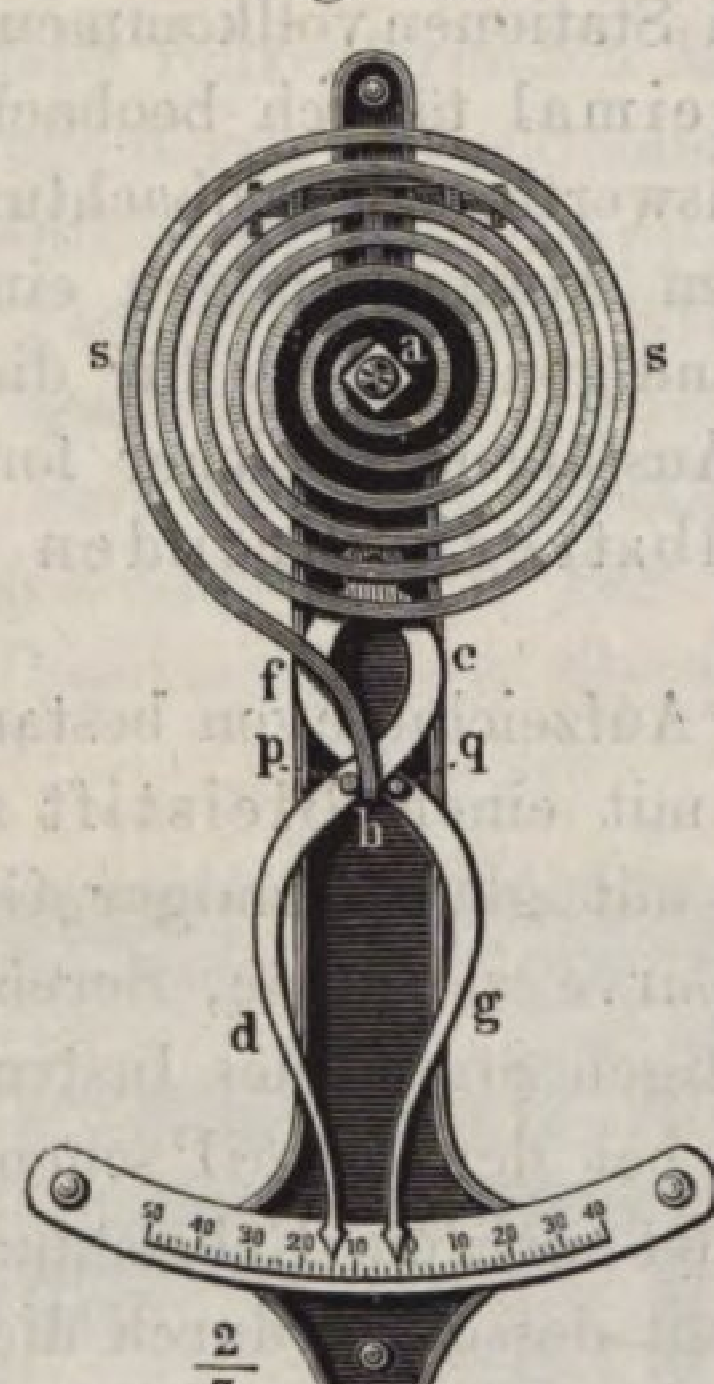


Fig. 255.



$\frac{2}{7}$

Hinter der Spirale sind nun zwei Zeiger *cd* und *fg* angebracht, welche um einen mit der Axe der Spirale parallelen Zapfen mit leichter Reibung drehbar sind. Auf dem einen Zeiger ist ein Stift *p*, auf dem anderen ist ein Stift *q* befestigt, und diese beiden Stifte ragen so weit vor, dass sie in das freie Ende *b* der Spirale anstossen, wenn man die Zeiger in der entsprechenden Richtung dreht. Bringt man nun die beiden Stifte *p* und *q* mit *b* in Berührung, so fallen die Spitzen der beiden Zeiger zusammen und zeigen auf den Theilstrich der Scala, welcher der eben herrschenden Temperatur entspricht. Steigt die Temperatur, so wird zunächst der Stift *p* sammt dem Zeiger *cd* fortgeschoben, bis das Maximum der Lufttemperatur eingetreten ist. An der Stelle, an welcher der Zeiger *cd* in diesem Momente steht,

bleibt er aber auch stehen, wenn nun die Temperatur wieder abnimmt und das freie Ende *b* der Spirale wieder zurückgeht. — Wenn der Stift *q* mit *b* in Berührung ist, so wird der Zeiger *fg* nach rechts geschoben, bis das Minimum der Lufttemperatur eingetreten ist, und bleibt dann stehen, wenn die Temperatur wieder steigt. — Mittelst zweier hinter der Spirale befindlicher Schrauben ist man im Stande, den Zapfen, in welchem das innere Ende der Spirale befestigt ist, etwas nach der einen oder der anderen Seite zu drehen und so den Stand des Instrumentes zu reguliren.

In dem Gehäuse, Fig. 251, ist ausser zwei Quecksilberthermometern (die Kugel des einen ist aus später zu besprechenden Gründen mit einem Läppchen von Pergal oder feinem Leinen umwickelt) auch noch ein Maximum- und Minimum-Thermometer der eben besprochenen Art, bisweilen auch noch ein Haarhygrometer angebracht.

164 **Die registrirenden Instrumente.** Wenn es auch für die Mehrzahl der meteorologischen Stationen vollkommen genügend ist, wenn der Stand der Instrumente dreimal täglich beobachtet und notirt wird, so ist es doch höchst wünschenswerth, die Beobachtungen eines grösseren Rayons durch die fortlaufenden Aufzeichnungen einer Centralstation gewissermaassen zu vervollständigen und so für die Wissenschaft nutzbringender zu machen. Zur Ausführung solcher fortlaufender Aufzeichnungen hat man nun die selbstregistrirenden Instrumente construirt.

Die älteste Methode solcher Aufzeichnungen bestand darin, den Zeiger des betreffenden Instrumentes mit einem Bleistift zu versehen, welcher auf einem durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortgeführten Papierstreifen eine Curve zeichnete, deren Abscissen der Zeit, deren Ordinaten aber dem jeweiligen Stande des Instrumentes entsprechen. Diese Methode, welche z. B. bei den Kreil'schen Registrirapparaten Verwendung gefunden hat, leidet an dem Uebelstand, dass bei manchen Instrumenten die Empfindlichkeit desselben durch die Reibung des Bleistifts auf dem Papier allzusehr beeinträchtigt wird.

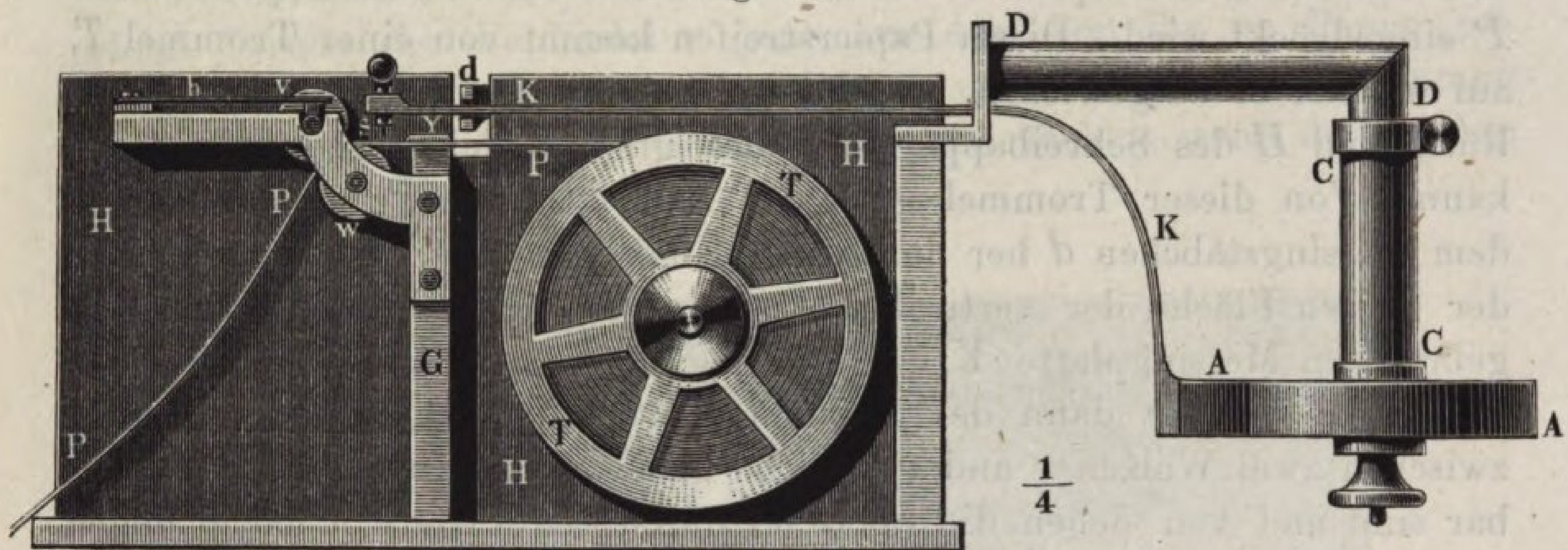
Lamont (Beschreibung der auf der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate, 1851) ersetzte den Papierstreifen durch eine um ihre Axe gedrehte Walze, deren Umfang durch Russ geschwärzt ist, den Bleistift aber durch einen Stahlstift.

Hipp änderte die ursprüngliche Methode dahin ab, dass er den Bleistift durch eine Nadelspitze ersetzte, welche nur von Zeit zu Zeit, etwa alle 10 Minuten, momentan in das unterliegende Papier eingedrückt wird, die übrige Zeit hindurch aber nicht mit demselben in Berührung bleibt. Fig. 256 und Fig. 257 stellen ein Hipp'sches Registrir-Thermometer dar, wie es Wild von Hasler in Bern für die Berner Sternwarte ausführen liess.

Der thermometrische Apparat ist ein Metall-Thermometer der

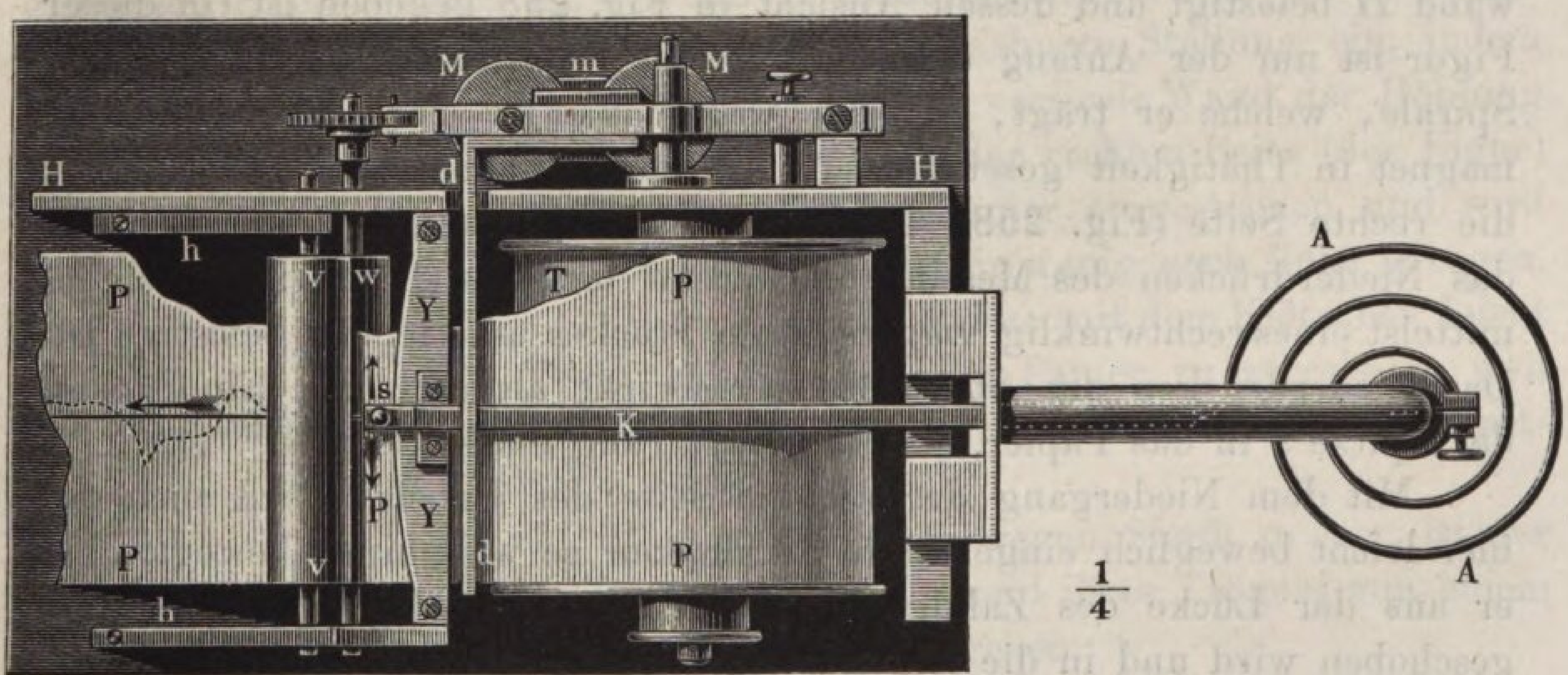
Art, wie wir es bereits in §. 163 kennen lernten. Das innere Ende der Spirale A (welche übrigens nicht bloss 3 Windungen hat, wie es Fig. 257 darstellt, sondern 7, wie man in Fig. 255, Seite 433, sieht) ist unverrückbar am unteren Ende der Messingröhre C, welche über den verti-

Fig. 256.



calen Theil eines ebenfalls röhrenförmigen Messingwinkels DD geschoben ist und mit einer Zwinge daran festgeklemmt werden kann. Die Messingröhre D ist an dem Gestelle des Schreibapparates in einer Weise befestigt, wie man sie aus den Figuren 256 und 257 deutlich ersehen kann. Es muss hier nur noch bemerkt werden, dass, der Raumersparniss wegen, der horizontale Theil der Röhre D verhältnissmässig zu kurz und die Spirale A zu klein gezeichnet ist. Der horizontale Theil von D ist 184^{mm} lang und der Durchmesser der Spirale beträgt 112^{mm}.

Fig. 257.



Am äusseren Ende der thermometrischen Spirale ist ein leichter, zuerst nach Oben gehender, dann horizontal umgebogener Messingzeiger KK angenietet. In das freie Ende dieses Zeigers ist ein Stahlstift eingesetzt, welcher unten eine Nadelspitze s trägt. Wenn es wärmer wird, wickelt sich die Spirale A etwas auf, die Spitze s wird also in der Richtung des ungefiederten Pfeilchens hin bewegt, während sie in der Rich-

tung des gefiederten Pfeilchens verschoben wird, wenn die Temperatur sinkt.

Nahe an seinem Ende geht nun der Zeiger *K* durch einen horizontalen Schlitz des Messingstäbchens *d*, so dass also durch ein Niederdrücken von *d* die Spitze *s* in den darunter befindlichen Papierstreifen *P* eingedrückt wird. Dieser Papierstreifen kommt von einer Trommel *T*, auf welcher er aufgewickelt ist und welche um eine horizontale auf der Rückwand *H* des Schreibapparates befestigte Axe leicht gedreht werden kann. Von dieser Trommel geht der Papierstreifen *P* zunächst unter dem Messingstäbchen *d* her durch einen feinen Schlitz, welcher zwischen der oberen Fläche der verticalen Messingwand *G* und der darüber angebrachten Messingplatte *Y* frei geblieben ist. Aus diesem Schlitz heraustretend gelangt dann der Papierstreifen unter der Spitze *s* hinweg zwischen zwei Walzen *v* und *w*, welche beide um horizontale Axen drehbar sind und von denen die obere *v*, durch die Federn *h* leicht gegen die andere angedrückt wird. Sobald nun die eine dieser Walzen in entsprechender Richtung gedreht wird, so wird der Papierstreifen in der Richtung des grösseren Pfeiles fortgezogen. Um die Walze *w* wenigstens zum Theil sich sichtbar zu machen, erscheint in Fig. 257 ein Stück aus dem Papierstreifen *P* herausgerissen.

Der Gang des Apparates ist folgender: Alle 10 Minuten wird der Strom einer Säule von 3 bis 6 grossen, 35^{cm} hohen, mit einer Lösung von Kochsalz und Alaun gefüllten Zink-Kohlenbechern durch Vermittelung einer guten Pendeluhr geschlossen und durch die Windungen eines Elektromagnets *M* hindurchgesandt, welcher auf der Rückseite der Messingwand *H* befestigt und dessen Ansicht in Fig. 258 gegeben ist (in dieser Figur ist nur der Anfang der Röhre *T* dargestellt, die thermometrische Spirale, welche er trägt, ist aber weggelassen). Sobald der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt wird, wird der Anker *m* an- und dadurch die rechte Seite (Fig. 258) des Hebels *l* niedergezogen, wodurch auch das Niederdrücken des Messingstäbchens *d* bewerkstelligt wird, welches mittelst eines rechtwinklig umgebogenen Stückes am Hebel *l* befestigt ist. Das Niederdrücken des Stäbchens *d* bewirkt alsdann das Eindrücken der Spitze *s* in das Papier, also die Markirung eines Punktes.

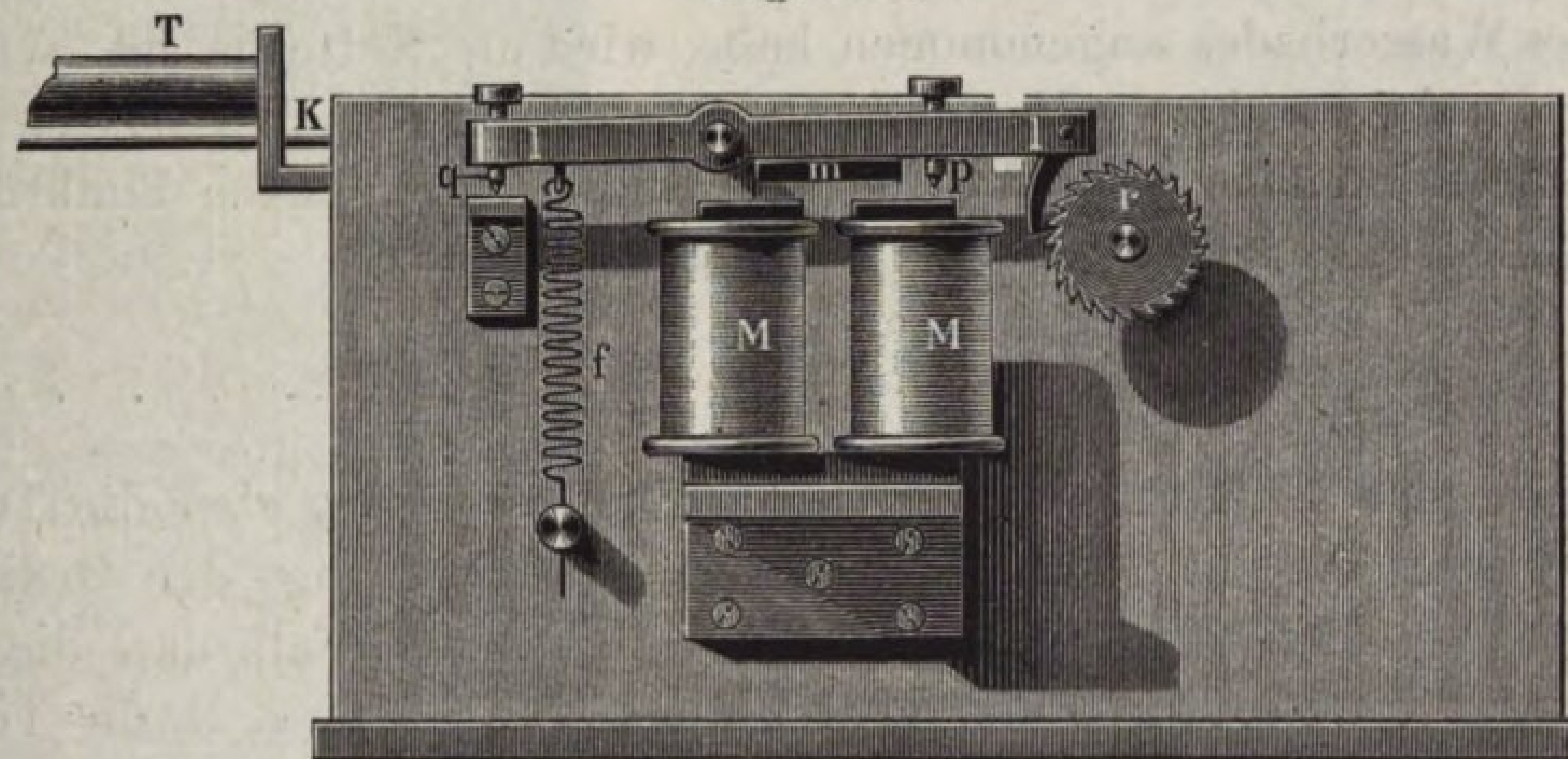
Mit dem Niedergang der rechten Seite des Hebels *l* wird auch der hier leicht beweglich eingehängte Stahlhaken so weit hinab bewegt, dass er aus der Lücke des Zahnrades *r*, in welcher er bisher sass, herausgeschoben wird und in die folgende Zahnlücke einfällt. Wenn nun nach ganz kurz dauernder Schliessung der Strom wieder unterbrochen wird, der Elektromagnet also seinen Magnetismus wieder verliert, so wird die linke Seite des Hebels *l* durch die Feder *f* niedergezogen und dadurch das Rad *r* um einen Zahn weiter geschoben. Das Zahnrad *r* ist aber auf der Axe der Walze *w* befestigt, so dass dieselbe also jeweils bei der Unterbrechung des Stromes um einen Winkel gedreht wird, welcher der Breite eines Zahnes des Rades *r* entspricht. Durch diese Drehung der

Walze w wird nun aber auch der Papierstreifen P um eine entsprechende Grösse vorgeschoben und ihm die Stellung gegeben, in welcher er bis zur Markirung des nächsten Punktes verharrt.

Die Bewegung des Hebels l ist einerseits durch die Schraube p, andererseits durch die Schraube q begränzt.

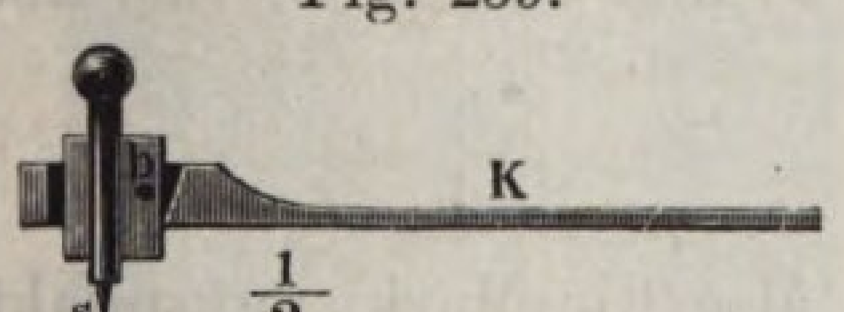
Das Drehen der Walze w, also das Fortziehen des Papierstreifens P, erfolgt bereits ehe die Nadel s ganz aus dem von ihr im Papier gemachten Loch zurückgezogen ist, sie würde also entweder die Bewegung des Papiers hemmen oder einen Riss in dasselbe machen, wenn dergleichen

Fig. 258.



nicht durch eine besondere Vorrichtung verhindert würde. Die Spitze s ist nämlich nicht unmittelbar fest in das Ende des Zeigers K, sondern in ein Messingklötzchen eingesetzt, welches um die horizontale Axe b, Fig. 259, leicht drehbar, in eine verticale rectanguläre Höhlung nahe am Ende des Zeigers K eingelassen ist. Wenn K nicht niedergedrückt ist, so nimmt das Messingklötzchen die in Fig. 259 verzeichnete Stellung ein, indem es durch sein Uebergewicht leicht gegen die verticale Wand der Höhlung angedrückt wird, welche die Oeffnung nach der rechten Seite (der Figur) hin begränzt. Ist aber die Spitze in das Papier eingestochen und wird dasselbe dann ein wenig nach links gezogen, so kann die Spitze mit dem Klötzchen leicht folgen, ohne das Papier zu zerreissen, weil eine kleine Drehung um den Zapfen b stattfinden kann.

Fig. 259.



Zum Schutz gegen Staub u. s. w. ist der ganze Apparat mit Ausnahme der Spirale und ihres Trägers von einem zerlegbaren Gehäuse von Glas und Holz umgeben.

Um aus den markirten Punkten auf die ihnen entsprechende Temperatur schliessen zu können, muss man ihren Abstand von einer bestimmten Abscissenlinie messen können, und eine solche wird durch den Apparat selbst ungefähr in der Mitte des Papierstreifens parallel mit seinen Rändern gezogen. Es geschieht dies durch ein kleines, in unseren Zeichnungen nicht sichtbares Röllchen mit scharfem Rande, welches in einem

auf der Mitte der Messinglamelle Y aufgesetzten Metallstück angebracht ist und welchem eine kleine Vertiefung in der Unterlage entspricht.

Um aus dem Abstand der markirten Punkte von der Mittellinie auf die entsprechende Temperatur schliessen zu können, ist erforderlich, die Temperatur zu ermitteln, für welche der Markirungspunkt gerade auf die Mittellinie fällt und welcher Temperaturänderung je 1 Millimeter der Ordinatenlängen entspricht. Um diese Bestimmungen auszuführen, wird die thermometrische Spirale ganz in ein Gefäss mit Wasser eingetaucht, dessen Temperatur man an einem guten Quecksilberthermometer ablesen kann. Wenn man annehmen kann, dass die Spirale ganz die Temperatur des Wasserbades angenommen habe, wird die Kette geschlossen und also ein Punkt markirt. Es sei t die Temperatur des Wasserbades und a der in Millimetern ausgedrückte Abstand des markirten Punktes von der Mittellinie, so haben wir

$$t - x = \pm a \cdot y \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn x die der Mittellinie entsprechende Temperatur, y aber die Temperaturänderung bezeichnet, welche einer Verlängerung der Ordinaten um 1^{mm} entspricht. Das untere Zeichen gilt für den Fall, dass die Markirungspunkte unterhalb der Mittellinie liegen. Als z. B. die Temperatur des Wasserbades $5{,}3^0$ C. betrug, fiel der Markirungspunkt $1{,}3^{mm}$ unter die Mittellinie, wir haben also die Gleichung

$$5{,}3 - x = -1{,}3\,y \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Um die Werthe von x und y zu bestimmen, muss man wenigstens zwei solche Versuche bei möglichst weit von einander abstehenden Temperaturen anstellen. Als die Temperatur des Wasserbades $21{,}1^0$ C. betrug, fand man, dass für dasselbe Instrument der Markirungspunkt $24{,}5^{mm}$ über der Mittellinie liege, wir haben also

$$21{,}1 - x = 24{,}5\,y \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

Aus der Combination der beiden Gleichungen 2) und 3) ergiebt sich aber

$$x = 6{,}096$$
$$y = 0{,}612$$

Für eine Temperatur von $6{,}096^0$ C. werden also die Markirungspunkte gerade auf die Mittellinie fallen und einer Entfernung der Markirungspunkte um je 1^{mm} entspricht eine Temperaturänderung von $0{,}612^0$ C.

Da nun aber derartige Bestimmungen stets mit unvermeidlichen Fehlern beobachtet sind, so macht man statt zweier Beobachtungen deren mehrere, etwa 12, und nimmt aus den verschiedenen Werthen für x und y, welche sich aus ihnen ergeben, das Mittel. Aus 12 verschiedenen Beobachtungen fand z. B. Wild für das oben besprochene Instrument nach der Methode der kleinsten Quadrate

$$x = 6{,}054^0 \text{ und } y = 0{,}6049^0.$$

Für einen Punkt, welcher um a Millimeter von der Mittellinie absteht, ist also die entsprechende Temperatur

$$t = (6{,}054 \pm 0{,}60494\, a)^0 \text{ C.}$$

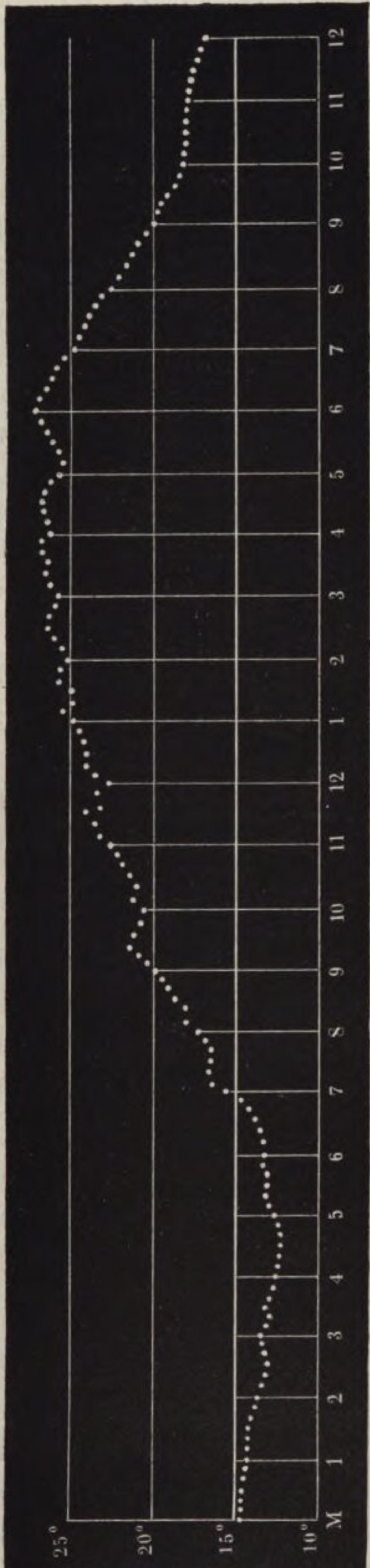


Fig. 102.

Durch Verstellung der Spirale kann man die Lage der Mittellinie gegen die Punktenreihe verrücken, also den Werth von x verändern. — Fig. 260 ist das Facsimile der Temperaturcurve, welche ein derartiger Apparat zu Bern am 25. Juli 1861 (bürgerliche Zeit) von Mitternacht bis Mitternacht geschrieben hat. Von den geraden Linien dieser Figur ist nur die Mittellinie, welche in diesem Falle fast ganz genau der Temperatur von 15° C. entsprach, durch den Apparat selbst gezogen, die übrigen geraden Linien sowie die Zahlen sind nachträglich eingezeichnet.

Die Besprechung der Methoden, mit Hülfe deren man auf kürzestem Wege aus der Temperaturcurve eines Tages die mittlere Temperatur des Tages ableiten kann, würde uns hier zu weit führen.

Nach ähnlichen Principien hat man nun auch selbstregistrirende Barometer, Regenmesser, Hygrometer und Apparate construirt, welche die Richtung und die Stärke des Windes notiren. Die Beschreibung der genannten Apparate, wie dieselben auf der Sternwarte zu Bern aufgestellt sind, hat Wild in dem 2. Bande von Carl's Repertorium veröffentlicht. Wir werden theilweise noch auf diese Instrumente zurückkommen.

Von ganz besonderem Werthe für die Wissenschaft würden solche selbstregistrirende Instrumente sein, welche ein Jahr lang fortgehen, ohne eines Nachsehens zu bedürfen, weil sie an unbewohnten und unbewohnbaren Orten aufgestellt, Auskunft über meteorologische Fragen geben könnten, die auf keinem anderen Wege zu erhalten sind. Bis jetzt ist es freilich noch nicht geglückt, Apparate auszuführen, welche diesem Zweck vollkommen entsprechen, die gemachten Versuche genügen aber, um die Ausführbarkeit der Idee darzuthun.

Wild beabsichtigte, einen derartigen meteorologischen Registrirapparat (für Temperatur, Windrichtung und Windstärke) auf dem Gipfel des Schreckhorns aufzustellen; die Ausführung dieses Planes wurde nur durch dessen Berufung nach Russland verhindert.

165 **Die täglichen Variationen der Lufttemperatur.** Nachdem wir nun die Hülfsmittel kennen gelernt haben, deren man bedarf, um die Lufttemperatur an einem gegebenen Orte und zu bestimmten Zeiten zu ermitteln, wollen wir uns jetzt zur Betrachtung der Resultate wenden, welche man mit Hülfe dieser Instrumente erlangt hat. Wenden wir uns zunächst zur Betrachtung der täglichen Variationen.

Um zu erforschen, nach welchen Gesetzen die Temperatur der unteren Luftschichten im Laufe eines Tages ändert, muss das Thermometer in regelmässigen, möglichst kurzen Zeitintervallen abgelesen werden, und zwar sind zu diesem Zwecke mindestens stündliche Beobachtungen nöthig, d. h. das Thermometer muss bei Tag und bei Nacht von Stunde zu Stunde abgelesen werden. Die älteste derartige Beobachtungsreihe ist die, welche Chiminello zu Padua während eines Zeitraumes von 16 Monaten machte. Später wurde eine ähnliche Beobachtungsreihe auf Brewster's Veranlassung auf dem Fort Leith bei Edinburgh angestellt, welcher dann bald noch weitere derartige Beobachtungsreihen folgten, unter denen wir die zu Halle, Göttingen, München, Kremsmünster, Prag, Brüssel, Greenwich, Apenrade, Rom, der karischen Pforte, Petersburg, Nertschinsk, Barnaul, Bombay, Madras, Rio-Janeiro, Frankfort-Arsenal bei Philadelphia, Insel Melville etc. hervorheben.

Gegenwärtig ist die äusserst mühsame und zeitraubende Arbeit stündlicher Beobachtungen, welche ohne Zusammenwirken mehrerer Personen gar nicht ausführbar ist, an vielen Hauptstationen durch die Aufstellung registrirender Instrumente, welche den Gang der Temperatur noch weit besser darstellen, überflüssig geworden.

Wenn man die stündlichen Beobachtungen oder die Aufzeichnungen registrirender Instrumente einzelner Tage betrachtet, so findet man, dass der Gang der Temperatur keineswegs ein so regelmässiger ist, wie man nach §. 159 vermuthen sollte; er ist vielmehr ein ziemlich regelloser und von einem Tage zum anderen oft wechselnder. So geben z. B. die beiden untersten feingezogenen Curven der Fig. 1 Tab. 12, den Münchener Beobachtungen zufolge, den Gang der Temperatur am 9. und 10. Januar 1841. Am 9. Januar stieg die Temperatur von 3 Uhr Nachts (8. Januar 15^h astronomische Zeit) ziemlich regelmässig bis 2 Uhr Nachmittags um $3^3/_4$ Grad, um dann bis zum 10. (9. Jan. 16^h astronomische Zeit) um 4 Uhr Morgens um 12 Grad zu sinken. Am 10. Januar stieg dann das Thermometer in unregelmässigem Gange bis Mitternacht wieder um 9^0. Die beiden fein gezeichneten Curven der Fig. 2 Tab. 12,

Tab. 12.

Fig. 1.

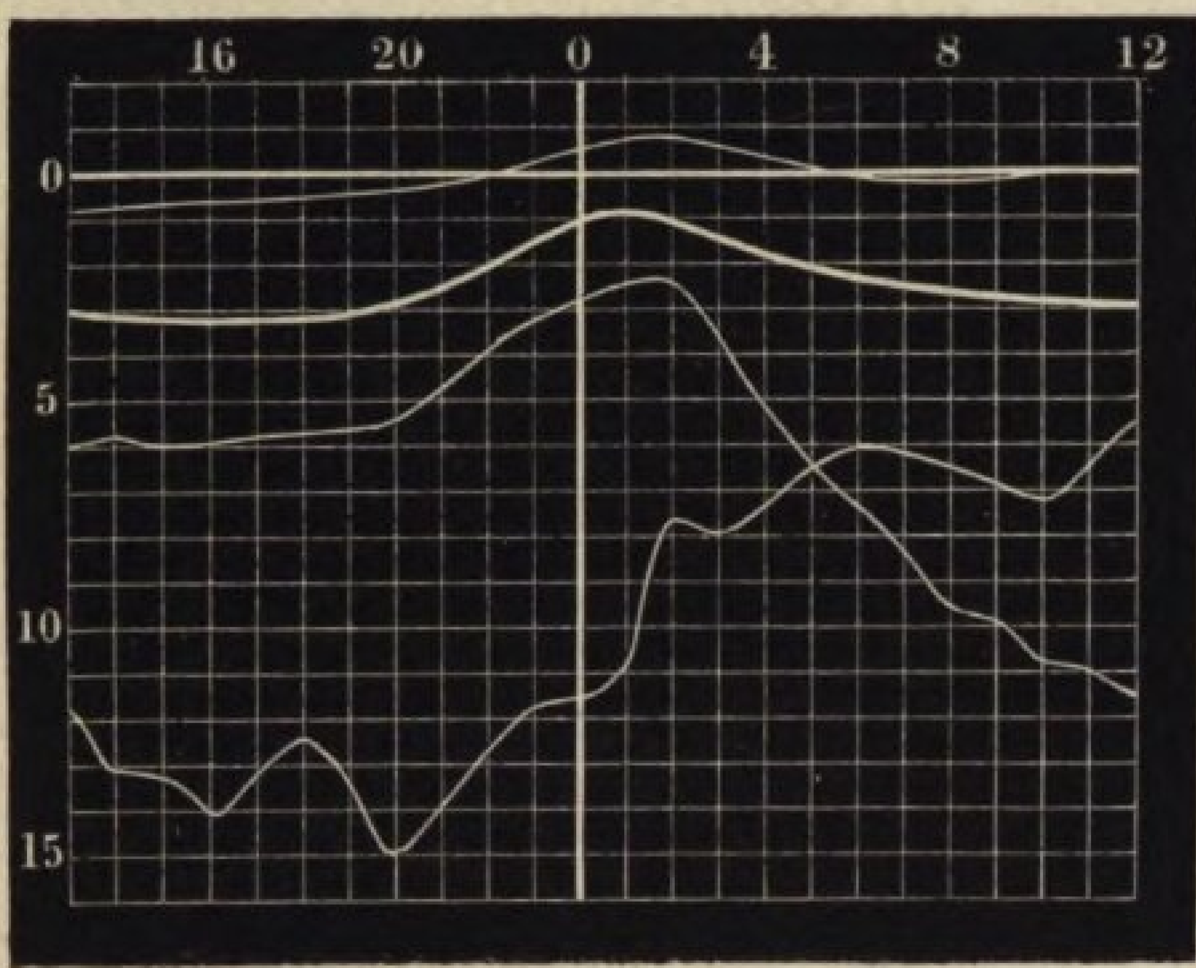


Fig. 2.

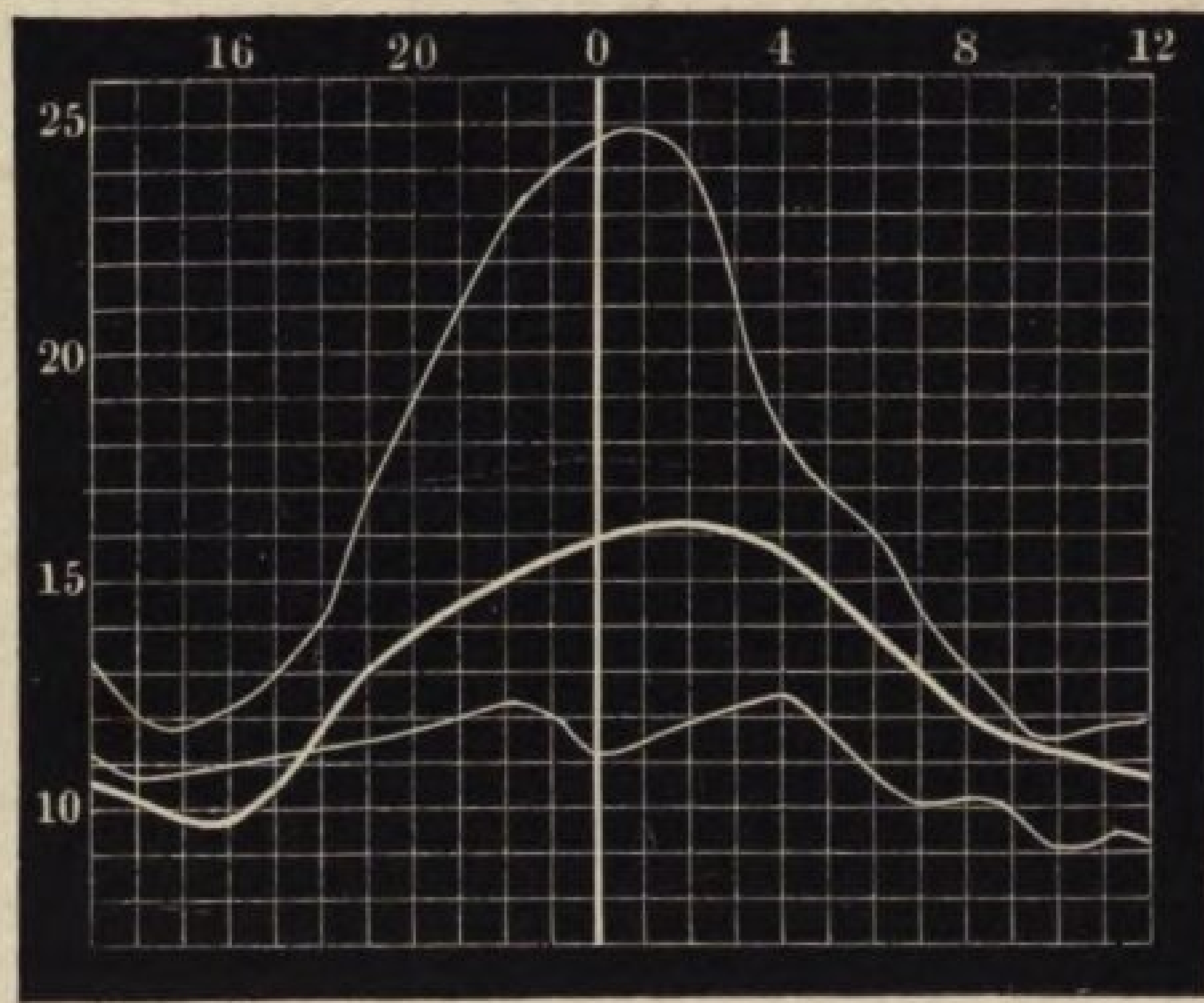


Fig. 3.

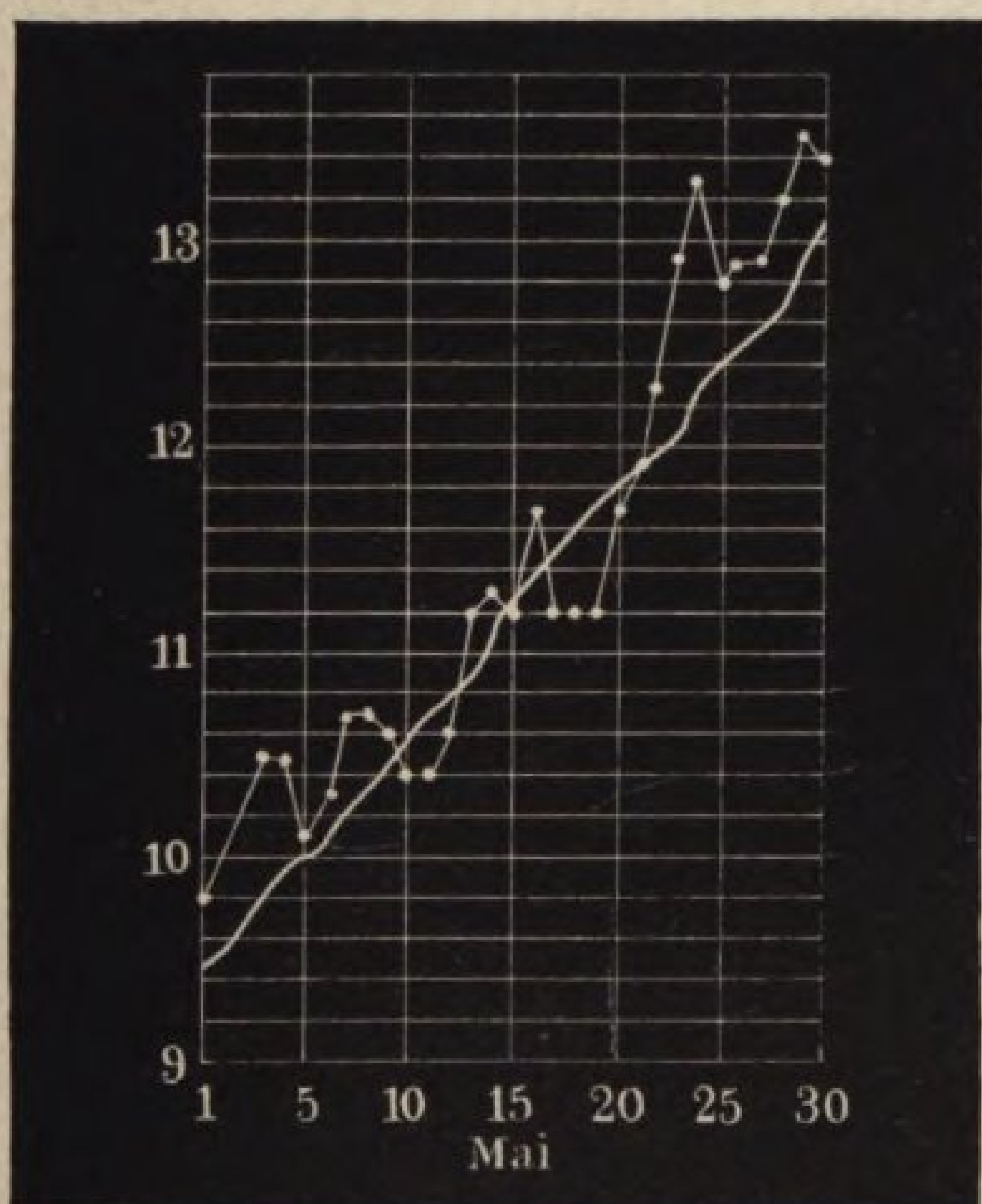
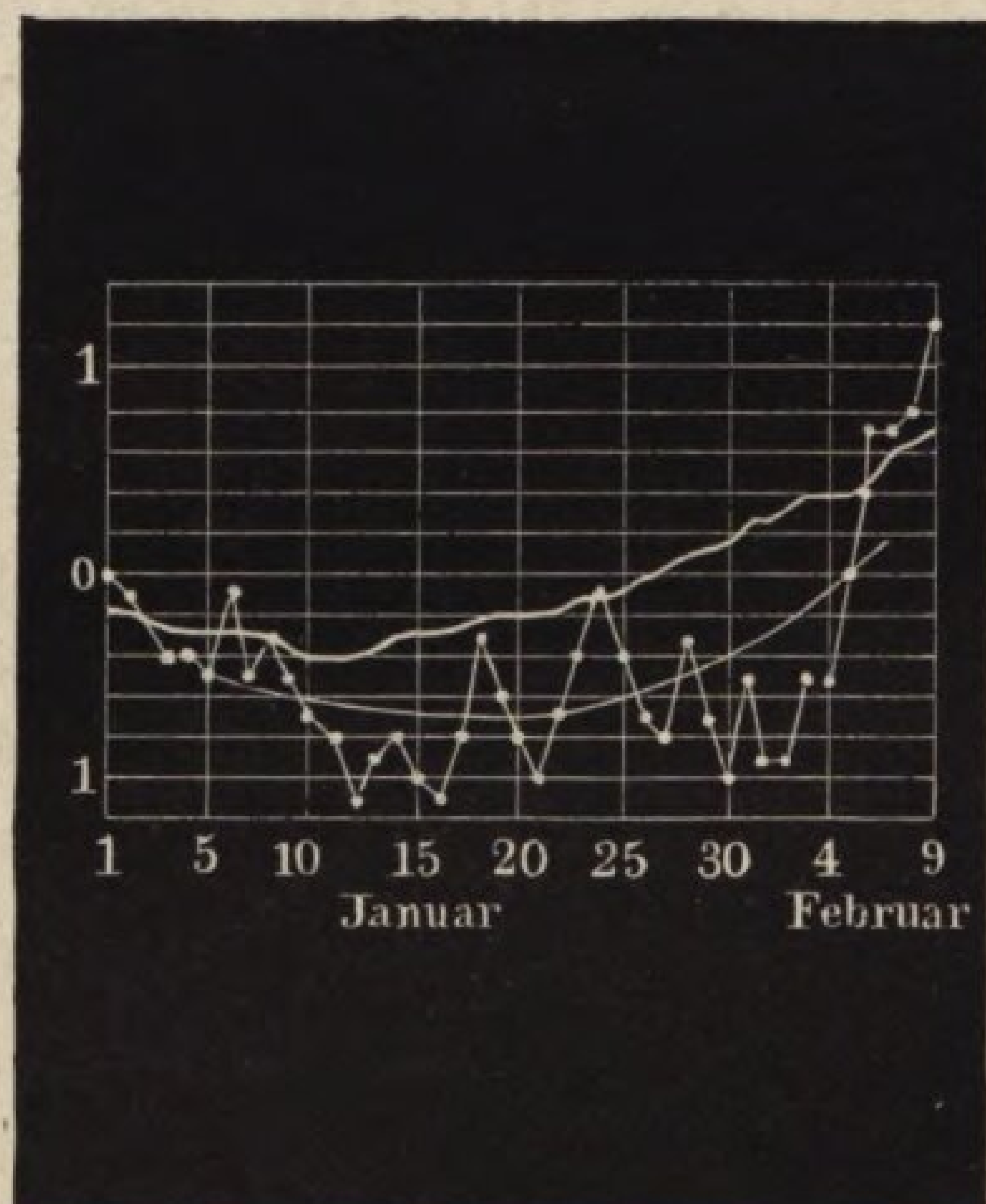


Fig. 4.



stellen den Gang der Lufttemperatur zu München am 10. und 18. Juli 1841 dar.

Solche Anomalien und Differenzen lassen sich leicht erklären, wenn man bedenkt, dass der Gang der Temperatur allerdings von der Stellung der Sonne gegen den Horizont abhängt, dass aber die Wirkung der Sonnenstrahlen wesentlich durch die Windrichtung, den Bewölkungszustand des Himmels u. s. w. modificirt werden. Deshalb tritt denn auch der normale Gang der täglichen Temperaturschwankungen nicht immer unmittelbar in die Erscheinung, sondern er kann nur als Mittel aus grösseren Beobachtungsreihen dargestellt werden.

Nimmt man aus allen während der Jahre 1841, 1842 und 1843 im Juli zu München Morgens um 4 Uhr gemachten Beobachtungen das Mittel, so erhält man 9,9°. Ebenso ergiebt sich für 6 Uhr im Juli die mittlere Temperatur 12,2°; für 8 Uhr 14°, für Mittag 16° u. s. w. Die stark ausgezogene Curve in Fig. 2, Tab. 12 stellt den normalen Gang der täglichen Temperaturschwankungen zu München im Laufe des Monats Juli dar, wie er sich aus den auf die angegebene Weise erhaltenen Mittelzahlen ergiebt.

Die stark ausgezogene Curve in Fig. 1, Tab. 12 hat die gleiche Bedeutung für den Monat Januar.

Im Durchschnitt steigt also zu München im Juli die Temperatur von 4 Uhr Morgens an (kurz vor Sonnenaufgang) anfangs rasch, dann langsamer bis 2 Uhr Nachmittags, um wieder anfangs rasch und dann langsamer bis zum nächsten Sonnenaufgang abzunehmen.

Das Minimum der Temperatur findet also ungefähr zur Zeit des Sonnenaufgangs, das Maximum ungefähr um 2 Uhr Nachmittags Statt.

Die Differenz des täglichen Maximums und Minimums beträgt im Mittel 6,2° R.

Im Januar ist der normale Gang der täglichen Wärmeschwankungen ein ganz anderer. Das Minimum der Wärme findet gleichfalls zur Zeit des Sonnenaufgangs Statt, welcher aber jetzt auf eine weit spätere Stunde fällt, das Maximum ungefähr um 1 Uhr Nachmittags. Das tägliche Maximum ist aber im Durchschnitt nur um 2° höher als das tägliche Minimum.

Die Grösse der mittleren täglichen Temperaturveränderung ist, wie wir bereits gesehen haben, nicht für alle Monate dieselbe; sie beträgt zu München im Januar 2°, im Juli 6,2°. Ebenso ist die Grösse dieser mittleren täglichen Veränderung an verschiedenen Orten nicht dieselbe, wie man aus folgender Tabelle ersieht, welche diese Grösse für verschiedene Orte und für die zwölf Monate des Jahres angiebt.

	Rio-Janeiro.	Bombay.	Frankfort-Arsenal.	Rom.	Prag.	Halle.	Brüssel.	Greenwich.	Leith.	Petersburg.	Nertschinsk.	Boothia.
Januar . . .	2,58⁰	3,47⁰	5,33⁰	4,55⁰	1,42⁰	1,89⁰	1,84⁰	2,21⁰	1,18⁰	1,27⁰	4,94⁰	0,26⁰
Februar . .	2,79	3,23	5,64	5,61	2,85	3,38	2,62	2,84	1,59	1,52	6,33	1,54
März . . .	2,70	2,63	6,05	5,84	3,52	4,04	4,08	4,80	2,74	3,51	7,47	5,76
April . . .	2,47	2,32	6,86	6,35	6,10	6,32	6,62	5,71	4,70	5,71	7,73	5,33
Mai	2,73	2,07	7,35	6,61	4,61	7,47	6,68	6,17	3,82	6,41	9,30	5,41
Juni . . .	2,81	1,96	7,81	7,76	6,20	7,40	6,43	6,80	3,71	6,03	9,02	5,03
Juli . . .	3,31	1,21	7,78	7,95	5,02	7,36	5,45	5,78	4,25	5,25	7,48	3,64
August . .	2,67	1,47	6,97	7,71	4,67	7,14	7,11	6,55	3,37	6,40	7,92	2,72
September	2,29	1,76	7,80	7,05	4,86	6,42	5,63	5,63	3,58	5,06	7,94	1,60
October .	2,13	2,70	7,49	7,09	3,45	5,42	3,36	4,08	2,16	2,34	7,91	1,03
November	2,54	3,21	4,27	5,58	2,40	2,76	2,17	2,64	1,85	0,77	5,11	0,63
December	2,60	3,89	4,76	4,53	2,05	1,67	2,30	1,87	1,03	0,83	4,17	0,27

Es sind dies die mittleren Differenzen zwischen dem Maximum und Minimum desselben Tages. An einzelnen Tagen ist diese Differenz weit grösser, an anderen wieder bedeutend kleiner. Die folgende Tabelle enthält die grösste und die kleinste Differenz zwischen dem Maximum und Minimum desselben Tages, welche während einiger Jahre zu Frankfurt a. M. in den einzelnen Monaten beobachtet worden ist.

	Grösste Differenz			Kleinste Differenz		
	1844	1845	1846	1844	1845	1846
Januar . . .	6,3°	5,6°	7,2°	1,0°	0,2°	0,7°
Februar . . .	9,1	10,8	8,5	2,1	1,2	0,7
März	8,8	9,7	12,6	2,1	1,7	1,5
April	12,9	11,8	11,0	2,3	2,3	3,0
Mai	12,1	11,7	13,9	2,6	3,2	1,9
Juni	13,6	12,0	12,0	5,0	3,1	1,7
Juli	10,9	12,9	14,2	2,9	1,6	4,6
August . . .	12,3	12,2	11,2	1,9	2,1	3,5
September . .	12,2	11,8	13,3	2,7	2,6	3,0
October . . .	9,3	8,1	9,5	2,1	2,2	2,5
November . .	5,7	7,6	6,8	0,5	2,0	0,8
December . .	7,5	8,0	9,1	0,3	0,2	0,6

Diese Data sind den meteorologischen Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen.

Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres. Nimmt man aus den 24 im Laufe eines Tages gemachten Temperaturbeobachtungen das Mittel, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages. 166

Hat man auf diese Weise die mittlere Temperatur aller Tage eines Monats ermittelt, so erhält man die mittlere Temperatur des Monats, wenn man aus den 30 oder 31 Tagesmitteln wieder das Mittel nimmt.

Die aus den 12 Monatsmitteln gezogene Mittelzahl giebt dann die mittlere Temperatur des ganzen Jahres an.

So ergeben sich z. B. aus den zu Berlin angestellten Beobachtungen folgende Mittelwerthe für die Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres von 1829 bis 1834:

	1829	1830	1831	1832	1833	1834	*D*
Januar . .	— 4,66	— 6,11	— 3,71	— 1,13	— 2,69	2,83	— 1,90
Februar .	— 2,88	— 2,40	0,60	0,97	3,01	1,16	— 0,15
März . . .	1,38	3,88	3,14	3,16	1,77	3,74	2,74
April . . .	7,19	8,41	9,00	7,20	5,06	6,20	6,88
Mai . . .	9,49	11,22	9,98	9,49	14,38	12,74	10,92
Juni . . .	14,56	14,01	12,60	13,61	15,27	15,17	13,94
Juli . . .	15,43	15,39	15,40	12,64	14,59	18,69	15,04
August . .	13,85	14,17	14,63	14,65	11,31	16,77	14,43
September	11,59	11,18	10,53	10,53	11,27	12,49	11,75
October .	6,35	7,28	9,74	7,62	7,04	7,69	7,97
November	0,71	4,72	2,71	2,62	3,39	3,81	3,25
December .	— 6,93	— 0,47	1,43	1,08	3,80	1,68	1,32
Jahr	5,50	6,77	7,16	6,86	7,35	8,58	7,18

Hat man für einen Ort die mittlere Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres während eines längeren Zeitraums ermittelt, so ergiebt sich das allgemeine Monatsmittel, wenn man die Mitteltemperaturen desselben Monats, wie man sie in den einzelnen Jahren erhalten hat, addirt und die erhaltene Summe durch die Zahl der Beobachtungsjahre dividirt. Auf diese Weise haben sich aus einer Reihe von 24 Beobachtungsjahren die allgemeinen Monatsmittel für Berlin ergeben, wie man sie in der letzten Columne obiger Tabelle unter *D* findet.

Auf gleiche Weise ergiebt sich das allgemeine Jahresmittel, welches für Berlin 7,18°R. ist.

Je länger die Beobachtungsreihen fortgesetzt sind, desto richtiger werden die aus ihnen berechneten allgemeinen Monats- und Jahresmittel.

Es ist für die Meteorologie von der höchsten Wichtigkeit, das allgemeine Jahresmittel und die allgemeinen Monatsmittel von möglichst vielen Orten der verschiedensten Weltgegenden zu kennen; dahin würde man aber nicht leicht gelangen, wenn es nöthig wäre, wirklich von Stunde zu Stunde das Thermometer zu beobachten.

Solche stündliche Beobachtungen sind viel zu mühsam, sie bedürfen des Zusammenwirkens mehrerer Personen, und deshalb werden sie nur an verhältnissmässig wenigen Orten angestellt werden können. Glücklicherweise kann man die mittlere Tages-, Monats- und Jahrestemperatur eines Ortes auch aus einer geringeren Anzahl von Beobachtungen ableiten, welche zu bequemen Tagesstunden angestellt werden.

Von der Mannheimer Societät wurden zu diesem Zwecke die Beobachtungsstunden 7 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends vorgeschlagen, und diese Stunden werden auch in der That an den meisten Beobachtungsstationen von Deutschland und Nordamerika eingehalten. Andere ganz passende Beobachtungsstunden sind 6 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 8 Uhr Abends; oder die gleichnamigen Stunden 6 Uhr Morgens und 6 Uhr Abends, 7 Uhr Morgens und 7 Uhr Abends u. s. w.

Nimmt man das Mittel aus den Temperaturbeobachtungen, welche zur Zeit irgend einer der angedeuteten Stundencombinationen gemacht wurden, so erhält man eine Zahl, welche dem wahren Tagesmittel sehr nahe ist; ebenso erhält man nahezu das wahre Tagesmittel, wenn man das Mittel aus den täglichen Extremen nimmt, wie sie am Thermometrographen beobachtet werden.

Wie weit nun die auf diesem Wege erhaltenen Mittelzahlen mit den wahren Mitteln übereinstimmen, welche Correctionen etwa an ihnen anzubringen sind, kann man jedoch nur durch Vergleichung mit den stündlich angestellten Beobachtungen erfahren. Eine ausführliche Untersuchung über diesen Gegenstand hat Dove in den Abhandlungen der Berliner Akademie vom Jahre 1846 veröffentlicht (Seite 81). In diesem Aufsatze finden sich Tabellen, die angeben, welche Correction man an den zu einer beliebigen Stunde des Tages oder aus irgend einer Stundencombination gezogenen Mittelzahlen anbringen muss, um die wahren Mittel zu finden. Diese Tafeln enthalten für 27 verschiedene Orte, die man als Normalstationen bezeichnen kann, unmittelbar die in Réaumur'schen Graden anzubringende Verbesserung, um die zu irgend einer Stunde erhaltene Temperatur auf das tägliche Mittel zu reduciren. Ferner ist die Correction für die aus den gleichnamigen Stunden 6 . 6, 7 . 7 u. s. w., aus den Combinationen 7 . 2 . 9, — 6 . 2 . 8 u. s. w. und die aus den täglichen Extremen erhaltenen Resultate beigefügt. Die folgenden Tabellen für Halle und Kremsmünster sind ein Auszug aus jenen Dove'schen; aus ihnen kann man die Einrichtung und den Gebrauch solcher Tabellen ersehen.

Monate.	Halle.								Kremsmünster.							
	Morgens			Nachmittags					Morgens			Nachmittags				
	6	9	12	3	6	7 . 7	7 . 2 . 9	Tägliche Extreme	6	9	12	3	6	7 . 7	7 . 2 . 9	Tägliche Extreme
Januar . .	0,72	0,05	— 0,82	— 1,06	— 0,30	0,30	— 0,11	— 0,23	0,88	0,35	— 0,98	— 1,12	— 0,35	0,33	— 0,12	— 0,07
Februar .	1,30	— 0,08	— 1,29	— 1,86	— 0,59	0,51	— 0,20	— 0,33	1,24	0,67	— 1,37	— 1,99	— 0,57	0,45	— 0,22	— 0,17
März . . .	1,42	— 0,06	— 1,73	— 2,10	— 0,91	0,45	— 0,18	— 0,20	1,81	0,30	— 1,56	— 1,99	— 1,08	0,43	— 0,13	— 0,07
April . . .	1,98	— 0,98	— 2,58	— 3,26	— 1,78	0,51	— 0,34	— 0,16	1,88	0,14	— 1,65	— 2,04	— 1,18	0,37	— 0,12	— 0,02
Mai . . .	1,30	— 1,34	— 2,66	— 3,37	— 2,24	— 0,14	— 0,71	0,37	1,86	— 0,45	— 2,09	— 2,67	— 1,62	0,07	— 0,41	— 0,24
Juni . . .	1,18	— 1,34	— 2,68	— 3,46	— 2,22	— 0,16	— 0,70	0,24	1,54	— 0,86	— 2,17	— 2,62	— 1,66	— 0,18	— 0,52	— 0,31
Juli . . .	1,24	— 1,30	— 2,65	— 3,54	— 2,16	— 0,08	— 0,65	0,14	1,54	— 0,42	— 1,75	— 2,33	— 1,38	0,09	— 0,31	— 0,15
August . .	1,90	— 1,20	— 2,90	— 3,57	— 1,96	0,26	— 0,49	0,00	1,80	— 0,37	— 1,86	— 2,46	— 1,49	0,13	— 0,32	— 0,17
September	1,97	— 1,14	— 2,72	— 3,27	— 1,83	0,43	— 0,35	— 0,09	2,34	0,28	— 1,81	— 2,65	— 1,66	0,38	— 0,23	— 0,14
October .	1,90	— 0,71	— 2,44	— 2,76	— 1,20	0,61	— 0,29	— 0,30	1,91	0,62	— 1,68	— 2,49	— 1,14	0,48	— 0,28	— 0,19
November	0,92	— 0,31	— 1,35	— 1,52	— 0,40	0,39	— 0,20	— 0,35	0,93	0,51	— 0,97	— 1,28	— 0,41	0,35	— 0,17	— 0,13
December.	0,52	— 0,09	— 0,90	— 0,94	— 0,20	0,28	— 0,10	— 0,25	0,54	0,38	— 0,78	— 0,94	— 0,11	0,29	— 0,16	— 0,07

Dieselben Correctionselemente, die für irgend einen Ort ermittelt wurden, werden nun aber auch für einen grossen Umkreis ohne merkliche Fehler gelten können. Hätte man also z. B. in Leipzig das Thermometer den ganzen Januar hindurch nur Mittags 12 Uhr beobachtet, und aus den 31 Beobachtungen das Mittel genommen, so hätte man von diesem Mittel noch die Zahl 0,82 abzuziehen, um das wahre Monatsmittel zu finden. Hätte man in den Stunden 7 . 2 . 9 beobachtet und das Mittel aus dreimal 31 Beobachtungen des Juli genommen, so würde dieses so erhaltene Mittel noch um 0,65^0 höher sein als das wahre Monatsmittel.

Jahresisothermen. Wir haben nun den Weg kennen gelernt, 167
auf welchem man die allgemeinen Monatsmittel und das allgemeine Jahresmittel eines Ortes ermitteln kann. Entsprechende Beobachtungen sind nun nach und nach an Orten aller Welttheile gemacht und die daraus sich ergebenden Mittelwerthe in Tabellen zusammengestellt worden. Die vollständigste Tabelle der Art ist die, welche Dove in den Abhandlungen der Berliner Akademie vom Jahre 1846 veröffentlicht hat (S. 153). Sie giebt für 900 Stationen die allgemeinen Monatsmittel und das allgemeine Jahresmittel. Wir wollen uns zunächst mit der Betrachtung der Jahresmittel abgeben.

Die nachfolgende Tabelle, welche der angeführten Dove'schen entnommen ist, enthält das allgemeine Jahresmittel für 164 verschiedene Orte in Réaumur'schen Graden.

Westindien.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Antigua	17° 8′	61° 48′ W.	—	21,15
Bermudas	32 20	64 50	—	15,73
Domingo	18 29	70	—	21,91
Havannah	23 9	82	—	20,07
Maracaibo	10 43	71 52	—	23,45
Paramaribo	5 45	55	—	21,47

Mexico und Südamerika.

St. Fe de Bogata . . .	4° 36′	74° 14′ W.	8100′	12,33
Mexico	19 26	99 6	6990	12,70
Lima	12 3 S.	77 8	530	18,36
Quito	0 14 S.	78 45	8970	12,49
Rio-Janeiro	22 54 S.	43 16	—	18,56
Falkland-Inseln	52 0 S.	61	—	6,77

Vereinigte Staaten von Nordamerika und Canada.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Albany	42° 39′	73° 44′ W.	123	7,2
St. Augustin	29 50	81 27	—	17,83
Augusta	33 28	81 54	—	13,29
Baltimore	39 18	76 35	—	9,53
Charlestown	32 47	79 57	—	15,15
Cincinnati	39 6	84 27	—	9,24
Concord	43 12	71 29	—	5,56
Councilbluffs	41 25	95 43	760	8,52
Halifax	44 39	63 38	—	3,56
St. Louis	38 36	89 36	—	10,29
Marietta	39 25	81 30	—	9,08
Natchez	31 34	91 25	—	15,16
New-Orleans	29 58	90 7	—	16,80
New-York	40 43	74 1	—	8,7
Pittsburg	40 32	80 8	—	9,89
Fort Ross	38 34	123 59	—	9,27
Quebec	46 48	71 17	—	4,38
Salem	42 31	70 54	—	7,49
Fort Snelling	44 53	93 8	820	6,09
Fort Vancouver	48 37	122 37	—	8,77

Polarländer.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Boothia Felix	69° 59′	92° 1′ W.	—	— 12,58
Fort Franklin	65 12	123 13	230	— 6,59
Insel Melville	74 47	110 48	—	— 13,67
Nain	57 10	61 50	—	— 1,86
Reykiavig	64 8	21 55	—	3,30
Sitcha	57 3	135 18	—	5,97
Fort Simpson	62 11	121 32	—	— 3,06

Grossbritannien.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Bristol	51° 27′	2° 36′ W.	—	8,74
Carlisle	54 54	2 58	36	6,66
Dublin	53 21	6 11	—	7,57
Edinburgh	55 58	3 11	220	6,72
Liverpool	53 25	2 59	—	8,36
London	51 30	0 5	—	8,28
Plymouth	50 22	4 7	—	8,92
Thorshavn	62 2	6 46	—	6,03
Wick	58 29	3 5	—	6,64

Frankreich.

	Breite.		Länge von Greenwich.			Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Bordeaux	44°	50′	0°	35′	O.	—	11,13
Dünkirchen	51	5	2	22		—	8,69
Marseille	43	18	5	22		140′	11,34
Montpellier	43	36	3	53		100	12,23
Nantes	47	13	1	33		—	10,18
Paris	48	50	2	20		114	8,58
Perpignan	42	42	2	54		160	12,33
Rochelle	46	9	1	10		—	9,34
Toulon	43	7	5	55		76	13,46

Niederlande.

Amsterdam	52°	23′	4°	53′	O.	—	7,94
Brüssel	50	51	4	22		—	8,30
Lüttich	50	39	5	32		—	9,19
Rotterdam	51	56	4	29		—	8,45

Schweiz.

Basel	47°	34′	7°	32′	O.	750	7,69
Bern	46	57	7	26		1790	6,21
St. Bernhard	45	50	6	6		7670	— 0,81
Chur	46	50	9	38		1880	7,60
St. Gallen	47	26	10	22		1700	7,33
Genf	46	12	6	10		1250	8,20
St. Gotthard	46	32	8	33		6650	— 0,84
Lausanne	46	31	6	38		1530	7,54
Zürich	47	23	8	32		1250	7,14

Italien.

Aetna	37°	46′	15°	1′	O.	9210	— 1,08
Bologna	44	30	11	21		270	11,44
Florenz	43	47	11	15		220	12,11
Genua	44	24	8	54		—	13,68
Mailand	45	28	9	11		720	10,30
Messina	38	11	15	34		30	14,98
Neapel	40	52	14	15		—	12,25
Palermo	38	7	13	22		—	15,60
Rom	41	54	12	25		160	12,66
Turin	45	4	7	41		867	9,39
Venedig	45	26	12	21		—	10,41

Deutschland.

	Breite.		Länge von Greenwich.		Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahrestemperatur.
Augsburg	48°	21′	10°	53′ O.	1470′	6,60
Berlin	52	30	13	24	100	7,18
Braunschweig	52	15	10	32	300	7,96
Breslau	51	7	17	2	370	6,64
Brocken	51	48	10	37	3500	0,70
Carlsruhe	49	1	8	25	320	8,30
Coblenz	50	22	7	36	200	8,65
Danzig	54	20	18	41	—	6,06
Dresden	51	3	13	44	360	7,60
Düsseldorf	51	14	6	47	90	8,78
Frankfurt a. M.	50	10	8	37	333	7,84
Halle	51	30	11	57	340	6,97
Hamburg	53	33	9	58	—	7,13
Heidelberg	49	28	8	42	313	8,65
Insbruck	47	16	11	23	1770	7,46
Königsberg	54	43	20	29	70	4,97
München	48	9	11	36	1573	7,28
Prag	50	5	16	46	583	8,10
Strassburg	48	35	7	45	418	7,86
Tübingen	48	31	9	3	990	6,57
Wien	48	13	16	23	450	8,46
Würzburg	49	48	9	56	525	8,35

Skandinavien.

Bergen	60°	24′	5°	18′ O.	—	6,57
Christiania	59	55	10	43	75	4,20
Drontheim	63	26	10	25	—	3,59
Kafiord	69	58	23	34	70	1,35
Kopenhagen	55	41	12	35	—	6,47
Lund	55	42	13	11	60	5,84
Stockholm	59	21	18	4	130	4,52
Tornea	66	24	13	47	—	— 0,42

Russland.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Archangel	64° 32′	40° 33′ O.	—	0,68
Astrachan	46 21	48 8	70	8,02
Barnaul	53 20	83 27	370	— 0,28
Enontekis	68 30	20 47	1380	— 4,18
Irkutzk	52 17	104 17	1355	0,27
Jakutzk	62 1	129 44	—	— 8,25
Kasan	55 48	49 7	140	1,53
Moskau	55 45	37 38	380	3,57
Nertschinsk	51 18	119 20	2100	— 3,17
Petersburg	59 56	30 18	—	3,38
Sebastopol	44 36	33 32	—	9,32
Tiflis	41 41	45 17	—	10,11
Ustjansk	70 58	138 24	—	— 12,44

Ungarn, Galizien und Küsten des mittelländischen Meeres.

Bucharest	44° 27′	26° 8′ O.	—	6,38
Ofen	47 29	19 3	810	6,88
Constantinopel	41 0	29 0	—	10,87
Canea	35 29	24 0	—	14,42
Bagdad	33 21	44 22	—	18,52
Algier	36 47	0 33	—	14,34
Tunis	36 48	10 11	—	16,34
Barcelona	41 23	2 12	—	13,79
Gibraltar	36 7	5 21 W.	—	15,75
Lissabon	38 42	9 9 W.	—	13,07
Madrid	40 25	3 41 O.	1940	11,63
Cairo	30 2	29 48	—	17,84

Tropisches Afrika.

Funchal	32° 38′	16° 56′ W.	80	15,83
Guinea	5 30	0 0	—	21,95
St. Helena	15 55 S.	5 43 W.	1660	13,07
Capstadt	33 56 S.	18 28 O.	—	15,32
Kouka	13 10	14 30	—	22,95
Souillac, Mauritius	—	—	—	21,08
Abuscheher	28 15	50 54	—	20,03

Ostindien und China.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Ava	21° 58′	96° 5′ O.	—	20,61
Batavia	6 9 S.	106 53	—	20,59
Benares	25 18	82 56	300′	21,45
Bombay	18 56	72 54	—	21,89
Calcutta	22 38	88 20	80	22,40
Canton	23 8	113 16	—	16,83
Colombo	6 57	80 0	—	21,67
Darjiling	27 7	88 21	6960	10,97
Macao	22 11	113 34	—	17,86
Madras	13 4	80 19	—	22,20
Manilla	14 36	129 0	—	20,63
Mastorea	30 27	78 2	6100	10,99
Peking	39 54	116 26	—	10,13
Seringapatam	12 45	76 51	2270	19,45
Singapore	1 17	103 50	—	21,63
Trevandrum	8 31	77 0	—	21,00

Australien.

	Breite.	Länge von Greenwich.	Höhe über dem Meere.	Mittlere Jahres-temperatur.
Adelaide	34° 58′ S.	138° 45′	—	16,20
Albany	35 2 S.	117 55	—	12,47
Fort Dundas	11 25 S.	132 25	—	21,61
Hobarttown	42 53 S.	147 28	—	9,07
Paramatta	33 49 S.	151 1	—	14,36

Aus dieser Tabelle ersieht man zunächst, dass Orte von gleicher geographischer Breite keineswegs auch gleiche mittlere Jahreswärme haben. Vergleichen wir in dieser Beziehung nur Nordamerika mit Europa, so tritt ein auffallender Unterschied hervor. New-York liegt noch etwas südlicher als Rom, und doch ist seine mittlere Jahreswärme um 4° R. geringer; die Stadt Bergen in Norwegen hat noch eine mittlere Jahreswärme von 6,57°, während zu Nain auf der Küste Labrador (57° 10′ n. Br.), einem um drei Breitegrade südlicher gelegenen Orte, die mittlere Jahreswärme nur — 1,86° beträgt. Bei gleicher geographischer Breite ist es in Nordamerika also stets kälter als in Europa. Ein ähnliches Verhältniss stellt sich bei der Vergleichung von Europa mit dem nördlichen Asien heraus.

Eine klare Uebersicht über die Vertheilung der Wärme auf der

Erde hat zuerst Humboldt durch seine isothermischen Linien möglich gemacht, durch welche er auf einer Erdkarte alle Orte derselben Hemisphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben. Seine Abhandlung über die Isothermen und die Vertheilung der Wärme auf der Erde erschien im Jahre 1817 im dritten Bande der *„Mémoires de la société d'Arcueil“*.

Humboldt's Abhandlung enthält eine Tabelle, welche die mittlere Jahreswärme für 60 verschiedene Orte angiebt, und nach diesen legte er seine Isothermen. Seit jener Zeit aber sind durch zahlreiche Beobachtungen die klimatischen Verhältnisse vieler Orte genauer ermittelt worden, ohne dass dadurch der Typus der grossen Krümmungen der Isothermen, wie sie von Humboldt bestimmt worden waren, eine wesentliche Aenderung erfahren hätte.

Die bereits erwähnte Tabelle, welche die mittlere Jahreswärme für 900 verschiedene Orte enthält, zu Grunde legend, hat Dove eine Isothermenkarte construirt, welche auf Tab. XVI wiedergegeben ist.

In dieser Karte sind die Isothermen von vier zu vier Grad Réaumur gezogen und jeder Linie ist die entsprechende Gradzahl beigeschrieben.

Der Gürtel der Erde, dessen mittlere Jahrestemperatur mehr als 20^0R. beträgt, ist roth angelegt, während die Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter 0^0 ist, durch blaue Färbung unterschieden sind.

Die neuesten Isothermenkarten, zu deren Construction das zahlreiche Beobachtungsmaterial der letzten Jahre benutzt wurde, hat Dove im Jahre 1864 veröffentlicht. Diese Karten zeigen die isothermischen Linien in Polarprojection. In Tab. XVII sind diese neuen Dove'schen Jahresisothermen vom Nordpol bis zum 40sten Grade nördlicher Breite eingetragen. Ein Vergleich dieser Tafel mit Tab. XVI zeigt, dass sich in Folge neuerer Beobachtungen der Lauf der Jahresisothermen vielfach anders herausgestellt hat als er auf Tab. XVI dargestellt ist.

Aus den Karten Tab. XVII ersieht man ferner, dass die niedrigste mittlere Jahrestemperatur nicht auf den Nordpol fällt, dass aber auch die Idee Brewster's, nach welcher es zwei Kältepole geben soll, von denen der eine auf den amerikanischen, der andere auf den asiatischen Continent fallen soll, nicht richtig ist.

Monatsisothermen. Wenn man die mittlere Jahrestemperatur 167
eines Ortes kennt, so genügt dies noch keineswegs, um ein richtiges Bild von den klimatischen Verhältnissen desselben zu geben; denn bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur kann der Gang der Wärme im Laufe eines Jahres, die Vertheilung der Wärme auf die einzelnen Jahreszeiten eine sehr verschiedene sein. So haben z.B., wie man aus obiger Tabelle sieht, Edinburgh und Tübingen fast gleiche mittlere Jahreswärme ($6{,}72^0$ und $6{,}57^0$R.), in Edinburgh aber ist die mittlere Temperatur des Winters $+ 2{,}9^0$, in Tübingen hingegen nur $0{,}16^0$. Tübingen hat also einen weit kälteren Winter als Edinburgh, dagegen ist die mittlere Sommer-

temperatur für Tübingen 13,7°, für Edinburgh nur 11,3°. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburgh einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Tübingen.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, muss man ausser der mittleren Jahrestemperatur auch noch wissen, wie sich die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte nach Humboldt's Beispiel dadurch andeuten, dass man an den verschiedenen Stellen einer und derselben Isotherme die mittlere Sommertemperatur des entsprechenden Ortes über, die entsprechende Wintertemperatur aber unter die Curve setzt.

Eine sehr gute Uebersicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwischen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Curven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur haben, und dann wieder diejenigen, für welche die mittlere Sommertemperatur gleich ist. Die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heissen Isotheren, die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heissen Isochimenen. Fig. 261 stellt ein Kärtchen von Europa mit den Isotheren und Isochimenen von 4 zu 4 Grad dar.

Fig. 261.



Die ausgezogenen Curven sind die Isochimenen, die punktirten sind die Isotheren. Man sieht aus dieser Karte leicht, dass die Westküste des südlichen Theils von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen und Ungarn, Siebenbürgen, Bessarabien und die Südspitze der Halbinsel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber gleichen Sommer mit dem Ausfluss der Garonne, und in der

Krim ist der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat eine gleiche mittlere Wintertemperatur, nämlich 4^0, mit Nantes, Oberitalien und Constantinopel, und gleiche Sommerwärme von 12^0 mit Drontheim und Finnland.

Die Isothere von 16^0 geht vom Ausfluss der Garonne ungefähr über Strassburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Donischen Kosaken, und geht etwas nördlich vom Kaspischen Meere vorbei; wie ungleich aber ist die mittlere Wintertemperatur an verschiedenen Orten dieser Isothere! An der Westküste von Frankreich ist sie 4^0, in Böhmen 0^0, in der Ukraine — 4^0 und etwas nördlich vom Kaspischen Meere gar — 8^0.

Eine noch weit vollständigere Uebersicht über den Gang der Temperatur an irgend einem Orte erhält man, wenn aus möglichst vieljährigen Beobachtungen die allgemeine Mitteltemperatur für jeden einzelnen Monat bestimmt wird. Dove hat nun mit Benutzung alles ihm zugänglichen Beobachtungsmaterials eine Tabelle zusammengestellt, welche die allgemeinen Monatsmittel für 900 Orte erhält und hat nach dieser Tabelle Isothermenkarten für jeden einzelnen Monat des Jahres construirt. Die Tabelle auf Seite 456 bis 459 ist ein Auszug aus der Dove'schen, und in den Karten Tab. XVIII und Tab. XIX sind die Monatsisothermen für die Monate Januar und Juli eingetragen.

Von den im Jahre 1864 von Dove mit Berücksichtigung der neueren Beobachtungen in Polarprojection construirten Monatsisothermen sind auf Tab. XVIII und XIX die Isothermen des Januar und des Juli wiedergegeben.

Aus denselben Gründen, aus welchen die Mittagsstunde nicht die heisseste Stunde des Tages ist, sondern die höchste Temperatur im Laufe eines Tages erst einige Stunden nach der Culmination der Sonne stattfindet, erreicht auch die Sommerwärme im Durchschnitt erst nach dem Sommersolstitium ihr Maximum, und so ist denn, wo nicht locale Ursachen eine Störung veranlassen, in der ganzen nördlichen gemässigten Zone der Juli der heisseste Monat, wovon man sich in der folgenden Tabelle überzeugen kann; ebenso folgt die grösste Winterkälte erst nach dem Wintersolstitium, und im Durchschnitt ist auch auf der nördlichen Halbkugel der Januar der kälteste Monat.

Wenn nun aber, wie es doch natürlich erscheint, der heisseste Monat die Mitte des Sommers, der kälteste die Mitte des Winters bilden soll, so ist klar, dass die meteorologische Eintheilung der Jahreszeiten von der astronomischen, bei welcher die Jahreszeiten durch die Solstitien und Aequinoctien abgetheilt werden, abweichen muss. In der That sind nach meteorologischem Sinne die Jahreszeiten der nördlichen gemässigten Zone in folgender Weise zusammengesetzt. Den Winter bilden: December, Januar, Februar; den Frühling: März, April, Mai; den Sommer: Juni, Juli und August; den Herbst endlich September, October und November.

Tafel der mittleren Monatstemperaturen

	Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
Antigua	20,20	19,80	19,84	20,38	21,35
Bermudas	11,04	11,92	12,16	13,68	16,48
Havannah	17,50	18,68	18,70	19,83	20,43
Paramaribo	20,5	20,4	20,9	21,0	21,3
Domingo	23,6	23,1	23,6	24,0	23,0
Mexico	9,11	10,83	12,95	13,77	15,18
Quito	11,66	12,88	12,46	12,38	12,72
Falklands-Inseln . .	10,66	9,77	8,72	7,40	6,51
Rio Janeiro	21,4	21,3	20,4	19,3	17,2
Albany	— 3,58	— 3,08	1,28	7,04	12,33
St. Augustin . . .	12,77	14,65	15,80	16,92	19,95
Council Bluffs . . .	— 4,17	— 2,40	2,41	8,81	15,36
Halifax	— 5,3	— 6,2	— 3,1	0,9	3,5
Concord	— 4,80	— 4,51	— 0,57	4,62	10,14
Marietta	0,01	0,90	4,86	9,41	13,28
New-Orleans	11,00	11,73	15,37	17,96	20,12
New-York	— 3,4	— 0,2	3,9	9,3	13,5
Fort Ross	7,05	6,96	7,46	8,43	9,64
Quebec	— 7,15	— 8,60	— 4,15	3,41	10,15
Fort Vancouver . .	2,66	4,88	5,33	6,22	9,77
Boothia Felix . . .	— 27,0	— 28,4	— 27,0	— 15,4	— 7,3
Fort Franklin . . .	— 24,1	— 21,7	— 16,6	— 8,7	1,4
Melville-Insel . . .	— 28,12	— 28,64	— 22,31	— 17,87	— 6,75
Nain	— 13,80	— 12,66	— 10,88	— 0,90	1,88
Reykiavig	— 0,97	— 1,64	— 0,95	1,98	5,69
Sitcha	1,02	— 0,71	2,67	3,84	7,19
Dublin	2,88	3,98	4,64	6,66	8,98
Edinburgh	2,39	2,76	3,79	5,41	8,15
London	2,22	3,78	4,44	7,11	10,22
Bordeaux	4,0	5,8	8,6	10,7	12,8
Montpellier	4,5	5,7	7,5	11,3	14,4
Paris	1,53	3,35	5,33	7,9	11,59
Amsterdam	0,53	2,14	3,88	7,17	10,53
Brüssel	1,46	3,27	4,79	6,79	11,14
Basel	— 0,74	1,10	4,16	7,51	11,46
St. Bernhard	— 6,94	— 6,14	— 4,51	— 2,09	1,79
Chur	— 1,18	1,52	4,61	6,94	12,57
Mailand	0,54	2,80	6,17	10,07	14,26
Neapel	6,52	6,82	8,01	10,31	13,85
Palermo	8,63	8,59	9,78	11,71	14,58
Rom	5,79	6,82	8,74	11,47	14,78

verschiedener Orte in Réaumur'schen Graden.

Juni.	Juli.	August.	Septbr.	October.	Novemb.	Decemb.	Differenz.
21,53	21,75	22,17	22,00	21,71	22,15	20,93	2,37
18,32	19,44	19,84	19,92	18,24	15,04	12,72	8,40
21,78	21,98	22,03	21,50	20,82	19,17	18,46	4,53
21,1	21,3	22,2	22,9	22,8	22,0	21,2	2,4
22,2	20,7	20,0	20,7	20,7	20,3	20,7	4,0
14,84	14,82	14,64	14,36	12,54	10,60	8,91	6,27
12,00	12,08	13,06	12,04	12,42	12,28	12,68	1,40
16,3	15,6	16,9	17,1	18,1	18,8	20,1	5,7
5,11	2,40	2,95	6,11	6,89	6,70	7,94	8,26
16,02	17,80	16,86	13,06	7,64	2,70	— 1,65	21,38
21,96	22,58	22,52	21,40	18,59	14,02	12,85	9,81
18,66	20,17	19,60	14,77	9,62	2,91	— 3,46	24,34
8,0	13,8	16,9	8,4	8,4	2,7	— 3,1	23,1
13,98	15,59	14,94	10,88	7,28	2,24	— 3,10	20,39
16,56	18,12	17,32	14,01	8,79	4,52	1,22	18,11
22,12	22,32	22,28	21,08	16,76	11,87	9,00	13,32
15,9	18,3	17,7	14,4	9,3	4,5	1,0	21,7
10,78	11,52	11,65	11,11	10,06	8,82	7,73	4,69
14,20	18,40	15 50	13,50	4,80	0,50	— 8,05	26,45
13,77	15,11	15,11	12,88	9,77	4,88	4,88	12,45
1,0	4,1	3,0	— 2,9	—10,2	—16,6	—24,2	31,1
7,1	8,9	8,2	4,0	— 4,2	—14,3	—19,1	33,6
1,87	4,64	0,26	— 4,21	—15,48	—23,62	—23,83	33,28
4,68	8,04	8,44	5,77	0,88	— 2,44	—11,33	22,24
8,70	10,75	9,27	6,42	2,18	— 0,69	— 1,15	12,39
9,70	11,16	11,46	10,65	6,50	4,84	1,92	10,45
11,26	12,76	12,74	10,56	8,00	4,93	3,57	9,88
10,68	11,86	11,22	9,53	7,46	4,19	3,44	9,47
12,89	14,00	14,02	12,00	8,66	6,00	3,78	12,00
15,5	18,3	18,3	15,6	11,6	7,3	5,0	14,3
18,0	20,6	20,0	17,0	13,3	8,3	6,1	16,10
13,66	14,96	14,82	12,52	9,0	5,41	2,92	13,43
13,56	14,82	14,80	12,72	8,51	4,41	2,17	14,29
13,91	14,39	14,41	12,13	8,78	5,22	2,28	12,95
13,86	15,09	14,72	11,75	8,05	3,07	1,57	15,83
3,89	5,44	5,38	3,02	— 0,41	— 3,63	— 5,66	12,38
13,18	15,00	14,18	12,05	8,17	4,28	— 0,10	16,18
17,19	19,00	18,48	15,32	11,09	6,70	2,03	18,46
17,23	19,04	18,58	16,34	13,16	9,68	7,45	12,52
17,40	19,43	19,71	18,06	15,56	12,18	10,10	11,12
17,38	19,54	19,40	16,92	14,58	9,50	7,02	13,75

Tafel der mittleren Monatstemperaturen

	Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
Berlin	— 1,90	— 0,15	2,74	6,88	10,92
Breslau	— 1,8	— 1,3	1,3	6,1	10,9
Carlsruhe	— 0,14	1,97	4,57	8,36	12,41
Danzig	— 2,02	— 0,54	1,44	5,07	8,92
Dresden	— 1,25	0,58	3,52	7,82	11,70
Düsseldorf	1,4	3,1	5,4	8,9	12,5
Frankfurt a. M.	— 0,24	2,08	4,24	7,60	11,44
München	— 1,07	0,45	4,08	6,63	11,38
Prag	— 1,95	— 0,27	3,94	9,16	12,66
Tübingen	— 1,44	0,46	3,28	6,96	10,48
Wien	— 1,21	0,68	3,91	8,82	13,40
Bergen	1,34	2,06	2,48	5,48	8,59
Stockholm	— 3,42	— 2,37	— 1,07	2,12	7,23
Torneo	— 12,71	— 11,03	— 7,31	— 2,26	4,01
Archangel	— 11,3	— 10,2	— 4,49	— 0,27	4,30
Astrachan	— 8,60	— 4,92	1,70	9,09	16,74
Barnaul	— 16,7	— 12,3	— 10,1	0,6	8,3
Irkutzk	— 15,69	— 12,10	— 5,32	1,86	7,85
Jakutzk	— 34,43	— 27,05	— 17,08	— 6,95	2,18
Moskau	— 8,19	— 7,11	— 2,33	4,32	9,98
Petersburg	— 8,4	— 7,4	— 5,6	1,2	5,7
Sebastopol	1,0	2,0	4,6	8,1	13,1
Tiflis	— 0,05	0,84	4,62	9,11	14,46
Ustjansk	— 31,8	— 28,1	— 16,0	— 11,2	— 1,8
Algier	9,32	10,14	10,66	12,02	15,26
Gibraltar	11,56	11,39	13,87	15,11	16,69
Cairo	11,60	10,72	14,48	20,40	20,56
Bukarest	— 3,56	— 5,20	— 0,12	5,48	10,81
Funchal	14,00	13,84	14,32	14,40	14,56
St. Helena	14,21	15,06	15,22	14,94	13,80
Capstadt	18,83	19,54	18,11	15,60	13,39
Kouka	19,44	22,72	25,28	26,80	26,20
Batavia	20,44	20,88	21,10	20,88	21,33
Calcutta	16,57	19,16	22,89	25,29	25,95
Peking	— 2,98	— 2,40	4,27	11,12	17,63
Singapore	20,65	21,46	21,51	21,80	22,10
Fort Dundas	22,69	22,72	22,64	22,40	21,60
Hobarttown	13,84	13,84	10,40	9,52	6,08
Adelaide	23,31	21,00	20,75	14,86	13,06

verschiedener Orte in Réaumur'schen Graden.

Juni.	Juli.	August	Septbr.	October.	Novemb.	Decemb.	Differenz.
13,94	15,04	14,43	11,75	7,97	3,25	1,32	16,94
13,8	14,8	14,5	11,8	7,4	2,7	— 0,5	16,6
14,45	15,83	15,41	12,56	8,33	4,24	1,58	15,97
12,12	14,04	13,73	10,70	6,69	2,69	— 0,09	16,06
14,74	15,77	14,82	11,67	8,02	3,04	0,75	17,02
14,5	15,3	14,9	12,6	8,9	5,3	2,2	13,9
14,00	15,14	14,99	12,18	7,66	3,98	1,00	15,38
13,38	14,55	14,26	11,63	7,65	3,12	1,29	15,62
15,09	16,72	16,25	13,25	8,13	3,52	0,68	18,67
12,72	14,24	13,84	11,20	7,04	1,44	— 1,12	15,68
15,77	17,22	16,87	13,29	8,54	3,71	0,46	18,43
10,91	12,62	11,94	9,94	7,13	3,95	2,55	11,28
11,13	13,98	12,80	9,62	5,42	1,50	— 2,15	17,40
10,58	13,06	10,88	6,34	0,17	— 0,38	—10,38	25,77
10,30	12,81	11,37	6,94	1,43	— 4,17	— 8,66	24,11
18,32	19,98	20,29	16,14	8,06	3,05	— 3,58	28,89
13,3	15,8	12,6	6,9	0,7	— 8,2	—14,1	32,5
12,66	14,60	12,07	6,89	0,85	— 6,71	—13,68	30,29
11,68	13,50	11,60	5,38	— 6,85	—24,18	—29,68	47,93
13,50	15,29	13,83	9,42	3,33	— 2,16	— 7,10	23,48
11,5	14,1	12,8	7,8	2,6	— 3,7	— 5,8	22,5
16,9	17,4	17,1	13,9	9,7	5,4	2,2	16,4
17,96	20,57	19,99	15,13	11,04	5,52	2,11	20,62
6,9	11,8	5,6	— 6,1	22,5	— 25,4	—30,7	43,6
17,56	19,22	19,77	18,30	16,22	13,30	10,29	10,45
19,17	21,09	20,84	18,59	15,72	13,37	11,63	9,70
22,96	23,92	23,92	20,96	17,92	13,76	13,04	13,20
13,58	16,07	14,74	11,69	7,71	4,82	0,48	19,63
16,32	18,00	18,48	18,64	17,36	15,84	14,16	4,80
12,47	11,56	11,19	11,14	11,66	12,38	13,23	4,08
11,50	11,37	12,70	13,29	14,64	16,95	17,94	8,17
25,60	22,96	21,52	22,80	23,68	21,20	17,72	9,08
20,22	20,44	20,88	20,88	20,00	19,11	20,88	2,22
25,18	23,59	23,82	24,02	23,29	20,77	17,94	9,38
21,71	22,05	21,74	16,51	10,47	3,11	— 1,71	25,03
22,02	22,38	21,82	21,79	21,81	21,47	20,85	1,65
20,16	17,84	19,60	20,80	22,24	22,96	23,44	5,60
3,84	3,60	6,00	6,72	9,84	11,36	13,76	10,24
11,66	9,89	11,62	12,58	16,06	18,00	22,22	13,42

168 **Die jährlichen Variationen der Lufttemperatur.** Die Tabelle auf S. 456 bis S. 459 liefert uns auch das Material, um die jährlichen Variationen der Lufttemperatur für die in derselben verzeichneten Orte zu verfolgen. Zunächst finden wir in derselben eine Bestätigung für die bereits in §. 159 ausgesprochene Behauptung, dass im Allgemeinen die Gränzen, zwischen welchen die Temperatur eines Ortes im Laufe eines Jahres schwankt, um so weiter auseinander liegen, je weiter derselbe vom Aequator entfernt ist. Es geht dies besonders aus der Betrachtung der letzten, mit „Differenz" überschriebenen Columne dieser Tabelle hervor.

Um für irgend einen Ort den normalen Gang der mittleren Temperatur anschaulich zu machen, kann man denselben graphisch darstellen, indem man auf zwölf gleichweit von einander abstehenden, den einzelnen Monaten entsprechenden Verticallinien die entsprechenden mittleren Monatstemperaturen als Ordinaten aufträgt und die so markirten Punkte durch eine Curve verbindet, wie dies auf Tab. 13 für fünf verschiedene Orte geschehen ist.

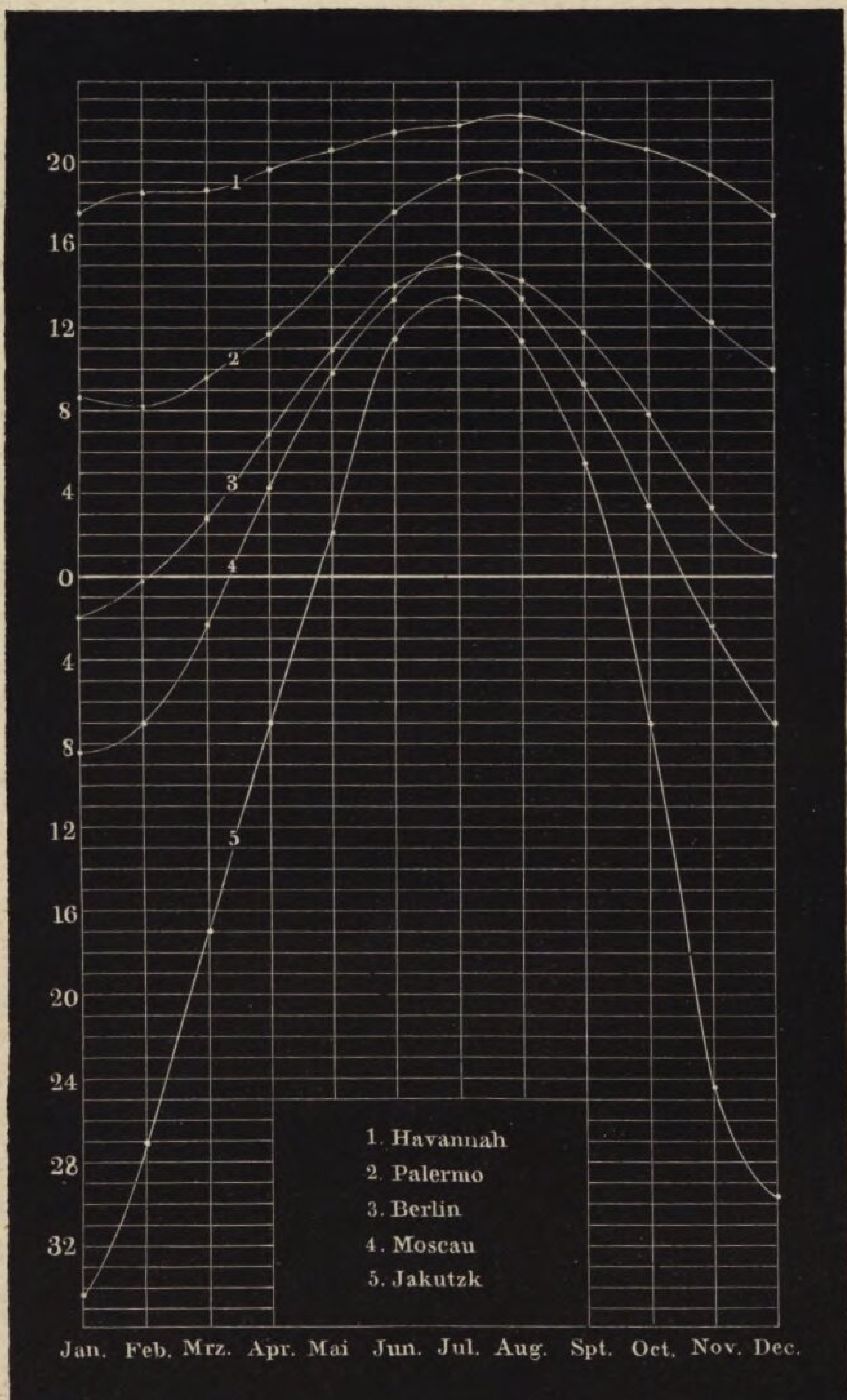
Man übersieht in Tab. 13 sehr deutlich, wie in Havannah die mittlere Temperatur der einzelnen Monate nur unbedeutenden Variationen unterliegt, während in Jakutzk die mittlere Monatstemperatur rasch von — 34,5 bis + 13,6 steigt, so dass also die Temperaturcurve für Jakutzk eine sehr steile wird.

So ist auch die jährliche Temperaturcurve für Moskau steiler als die für Berlin; die mittlere Januartemperatur ist für Moskau bedeutend tiefer, die mittlere Julitemperatur dagegen etwas höher als für Berlin.

Die zwölf Ordinaten, über welche die Curven der Tab. 13 gezogen sind, beziehen sich übrigens auf zu weit von einander abstehende Zeitintervalle, als dass sie das Gesetz der jährlichen Temperaturperiode auch in seinen Einzelnheiten genau darstellen könnten; zu diesem Zwecke müsste man statt der Monatsmittel die mittlere Temperatur kleinerer Zeitabschnitte ermitteln und zwar erweisen sich fünftägige Mittel, durch welche das Jahr in 75 gleiche Theile getheilt wird, besonders empfehlenswerth. Dove hat alle auf fünftägige Mittel berechneten Beobachtungen zusammengestellt und für einige Orte, welche besonders charakteristische Eigenthümlichkeiten und Gegensätze darbieten, graphisch dargestellt (Verbreitung der Wärme auf der Oberfläche der Erde, Berlin 1848). Am vollständigsten erhält man aber jedenfalls die jährliche Temperaturcurve, wenn man zu ihrer Construction die 365 Tagesmittel verwendet.

Hat man aus einer längeren Reihe von Jahren die mittlere Temperatur für einen jeden Tag des Jahres ermittelt, so erhält man die mittlere Temperaturcurve des Jahres, wenn man die 365 Tagesmittel in gleichen Horizontaldistanzen als Ordinaten aufträgt und den Gipfelpunkt einer jeden mit dem Gipfelpunkt der folgenden verbindet. So hat z. B. Greiss (Jahresbericht d. physik. Vereins zu Frankfurt a. M. für d. Rechnungsjahr 1859 bis 1860) für die mittlere Temperatur der einzelnen

Tab. 13.


20
16
12
8
4
0
4
8
12
16
20
24
28
32
1
2
3
4
5
1. Havannah
2. Palermo
3. Berlin
4. Moscau
5. Jakutzk
Jan. Feb. Mrz. Apr. Mai Jun. Jul. Aug. Spt. Oct. Nov. Dec.

Tage des Jahres als Mittel aus 20jährigen Beobachtungen (1837 bis 1856 incl.) folgende Werthe gefunden.

(Siehe die Tabelle auf S. 462 und 463.)

Wenn man nach den Zahlen dieser Tabelle die Temperatur eines jeden Tages als Ordinate aufträgt und den Gipfelpunkt jeder Ordinate mit dem Gipfelpunkt der folgenden durch eine gerade Linie verbindet, wie es in Fig. 4 auf Tab. 12 für die Tage vom 1. Januar bis zum 9. Februar und in Fig. 3 Tab. 12 für den Mai geschehen ist, so erhält man nicht etwa eine regelmässig verlaufende Curve, sondern eine im Zickzack unregelmässig auf- und absteigende, von der man unmöglich annehmen kann, dass sie das wahre Gesetz der jährlichen Periode der Lufttemperatur ausdrückt. In 20jährigen Mitteln erscheinen also die Störungen des normalen Ganges der Lufttemperatur noch nicht ausgeglichen. Diese Unregelmässigkeiten verschwinden aber selbst in der Curve noch nicht, welche sich in der angegebenen Weise für Berlin aus 110jährigen Beobachtungen ergiebt.

Um solche Unregelmässigkeiten zu entfernen, haben Bouvard, Bessel u. a. Interpolationsformeln construirt, deren Constanten aus einer möglichst grossen Reihe von Beobachtungsdaten abgeleitet werden müssen. Die Anwendung solcher Formeln ist aber eine so umständliche, dass wir hier nicht weiter darauf eingehen können.

Meermann hat die mittlere jährliche Temperaturcurve für Frankfurt a. M. dadurch zu bestimmen gesucht, dass er zunächst aus einer 10jährigen Beobachtungsreihe (1758 bis 1767) die mittlere Temperatur eines jeden Tages im Jahre in der Weise zu bestimmen suchte, wie es in der Tabelle auf S. 462 aus einer 20jährigen Reihe geschehen ist; als das wahre Tagesmittel nahm er alsdann für jeden Tag das Mittel aus den 15 vorangehenden und 15 nachfolgenden Tageszahlen. Nach den so erhaltenen Zahlen ist alsdann Meermann's Linie der mittleren Wärme construirt, welche man auf der graphischen Darstellung des täglichen mittleren Barometer- und Thermometerstandes zu Frankfurt a. M. bis zum Jahre 1860 aufgetragen findet. Greiss änderte das Meermann'sche Verfahren dahin ab, dass er die Mittelzahlen aus 20jährigen Beobachtungen zu Grunde legte und dann den betreffenden Tag mit den 15 vorangehenden und den 15 nachfolgenden zu einer Summe vereinigte, die dann durch 31 dividirt die gesuchte normale Temperatur des fraglichen Tages liefert. Auf diese Weise ist dann die Tabelle auf S. 464 berechnet. So ist z. B. die für den 16. Januar gefundene Zahl — 0,3 das arithmetische Mittel aus den 31 Zahlen der zweiten Verticalreihe der umstehenden Tabelle.

Datum.	Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.	Juni.
1	— 0,0	0,9	1,5	6,0	9,8	13,4
2	— 0,1	0,9	1,5	6,1	10,2	14,4
3	— 0,4	0,5	2,1	6,5	10,5	14,0
4	— 0,4	0,5	2,2	6,4	10,5	13,6
5	— 0,5	0,0	2,0	6,7	10,1	13,1
6	— 0,1	0,7	2,4	6,8	10,3	13,5
7	— 0,5	0,7	2,2	6,8	10,7	14,1
8	— 0,3	0,8	2,3	6,5	10,7	14,2
9	— 0,5	1,2	2,4	6,2	10,6	13,8
10	— 0,7	0,4	2,7	5,7	10,4	14,1
11	— 0,8	0,2	2,4	6,3	10,4	14,4
12	— 1,1	0,0	2,5	6,7	10,6	14,7
13	— 0,9	0,1	2,9	6,9	11,2	15,3
14	— 0,8	0,4	3,1	7,1	10,3	14,6
15	— 1,0	0,5	3,3	7,1	10,2	14,7
16	— 1,1	1,2	3,5	7,0	10,7	14,5
17	— 0,8	1,4	4,1	7,2	11,2	15,0
18	— 0,3	1,4	3,9	7,8	11,2	14,3
19	— 0,6	0,5	3,3	8,0	11,2	14,6
20	— 0,8	0,2	3,4	8,6	10,7	14,1
21	— 1,0	0,4	3,3	8,4	10,9	14,5
22	— 0,7	1,1	3,6	8,7	12,3	15,2
23	— 0,4	1,3	4,2	8,5	12,9	14,7
24	0,1	2,0	4,1	8,9	13,3	14,1
25	0,4	2,2	3,8	9,0	12,8	14,5
26	0,7	2,3	3,7	9,3	12,9	14,7
27	0,8	2,1	4,0	9,0	12,9	14,6
28	0,3	1,8	4,3	8,7	13,2	14,8
29	0,7	—	4,9	8,8	13,5	14,7
30	0,1	—	5,1	9,4	13,4	14,5
31	0,5	—	5,2	—	12,9	—

Juli.	August.	September.	October.	November.	December.
14,1	15,4	14,0	10,2	5,9	2,3
14,3	15,3	13,6	10,6	5,8	2,1
14,7	15,6	13,2	10,5	5,3	1,5
15,1	15,6	13,1	10,5	4,9	1,4
15,4	15,2	12,9	10,8	5,0	1,6
15,7	15,4	12,6	10,3	4,6	2,0
15,8	14,9	12,7	10,2	4,6	1,9
16,0	14,8	12,7	9,5	4,6	0,9
15,6	15,3	12,7	9,0	4,8	1,1
15,3	15,5	13,1	8,9	4,3	1,6
14,9	15,7	13,1	9,0	4,1	0,5
15,3	15,5	12,8	8,8	3,7	— 0,9
15,8	15,5	11,8	7,4	3,7	— 0,2
15,7	15,7	11,8	7,2	4,1	— 0,3
16,1	15,2	12,1	7,6	3,9	0,7
15,4	15,4	12,2	7,3	3,9	1,0
15,1	15,3	12,2	7,8	3,9	0,9
15,4	15,1	12,3	7,8	3,4	0,5
15,7	15,3	11,9	8,1	3,0	0,1
14,7	15,3	11,4	7,8	3,2	— 0,3
15,1	15,3	11,6	6,6	3,2	— 0,2
14,8	15,0	11,0	6,4	3,3	— 0,1
15,6	15,1	11,3	6,4	3,2	0,0
15,5	14,6	10,6	6,8	3,3	0,3
15,3	14,2	10,3	6,9	2,9	1,0
15,0	14,0	10,1	6,6	2,7	0,4
14,6	14,2	10,0	6,4	1,8	0,0
15,2	14,5	10,2	6,6	2,0	0,5
14,8	14,3	10,5	6,4	2,1	— 0,8
14,9	14,5	9,8	6,2	2,3	— 0,4
15,1	13,9	—	5,5	—	0,2

Normale Mitteltemperatur der einzelne

Datum.	Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.	Juni.
1	— 0,2	0,3	1,9	5,3	9,5	13,3
2	— 0,2	0,3	2,0	5,4	9,6	13,4
3	— 0,3	0,4	2,1	5,6	9,8	13,5
4	— 0,3	0,4	2,2	5,7	9,9	13,6
5	— 0,3	0,4	2,2	5,9	10,0	13,7
6	— 0,3	0,5	2,3	6,1	10,0	13,8
7	— 0,3	0,6	2,4	6,2	10,2	13,9
8	— 0,4	0,6	2,6	6,4	10,3	14,0
9	— 0,4	0,7	2,7	6,5	10,4	14,0
10	— 0,4	0,7	2,7	6,7	10,6	14,1
11	— 0,4	0,8	2,8	6,9	10,7	14,1
12	— 0,4	0,8	2,9	7,0	10,8	14,2
13	— 0,4	0,9	2,9	7,2	10,9	14,2
14	— 0,3	0,9	3,0	7,3	11,1	14,3
15	— 0,3	0,9	3,1	7,4	11,3	14,3
16	— 0,3	1,0	3,2	7,6	11,4	14,3
17	— 0,3	1,0	3,4	7,7	11,5	14,4
18	— 0,2	1,0	3,5	7,9	11,6	14,4
19	— 0,2	1,1	3,7	8,0	11,7	14,4
20	— 0,2	1,2	3,8	8,1	11,8	14,5
21	— 0,2	1,3	3,9	8,2	11,9	14,6
22	— 0,2	1,3	4,1	8,3	12,0	14,6
23	— 0,1	1,4	4,2	8,5	12,1	14,7
24	— 0,1	1,4	4,4	8,6	12,3	14,7
25	— 0,1	1,5	4,5	8,7	12,4	14,8
26	0,0	1,5	4,6	8,9	12,5	14,8
27	0,0	1,6	4,7	9,0	12,6	14,8
28	0,0	1,7	4,9	9,2	12,7	14,9
29	0,1	—	5,0	9,3	12,9	14,9
30	0,1	—	5,1	9,4	13,0	14,9
31	0,2	—	5,2	—	13,2	—

Tage des Jahres für Frankfurt a. M.

Juli.	August.	September.	October.	November.	December.
15,0	15,2	13,7	10,1	5,7	2,0
15,0	15,2	13,7	10,0	5,6	1,9
15,0	15,2	13,5	9,8	5,4	1,8
15,0	15,2	13,4	9,7	5,3	1,7
15,0	15,2	13,3	9,6	5,1	1,6
15,1	15,2	13,2	9,4	5,0	1,5
15,1	15,2	13,0	9,2	4,9	1,4
15,1	15,2	12,9	9,1	4,8	1,3
15,1	15,2	12,8	8,9	4,7	1,2
15,2	15,2	12,7	8,8	4,6	1,1
15,2	15,1	12,5	8,7	4,4	1,0
15,2	15,1	12,4	8,6	4,3	0,9
15,2	15,1	12,3	8,5	4,1	0,9
15,2	15,1	12,1	8,3	4,0	0,8
15,2	15,1	12,0	8,2	3,9	0,7
15,2	15,0	11,9	8,1	3,8	0,7
15,3	15,0	11,8	8,0	3,6	0,6
15,3	14,9	11,7	7,8	3,5	0,5
15,3	14,8	11,6	7,6	3,4	0,4
15,3	14,7	11,5	7,5	3,3	0,4
15,3	14,6	11,4	7,3	3,2	0,3
15,3	14,6	11,3	7,1	3,1	0,3
15,3	14,5	11,2	6,9	3,0	0,2
15,2	14,4	11,1	6,7	2,9	0,1
15,2	14,3	11,0	6,6	2,8	0,1
15,3	14,3	10,9	6,5	2,6	0,0
15,3	14,2	10,7	6,1	2,5	0,0
15,3	14,0	10,5	6,0	2,3	0,0
15,2	13,9	10,4	5,9	2,2	— 0,1
15,2	13,8	10,3	5,9	2,1	— 0,1
15,2	13,8		5,8		— 0,1

Nach den Zahlen dieser Tabelle ist dann die Linie der mittleren Wärme auf der graphischen Darstellung der meteorologischen Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. vom Jahr 1861 an aufgetragen. Die stark ausgezogene Curve in Fig. 3 und Fig. 4 auf Tab. 12 sind Stücke dieser Linie.

Hat man einmal den normalen Gang der Wärme für irgend einen Ort ermittelt, so lässt sich nun auch leicht übersehen, wie weit in einzelnen Jahren die Lufttemperatur von dem normalen Gange abweicht. In Fig. 1 Tab. 14 ist der normale Gang der Wärme für Frankfurt a. M. vom 1. bis 25. Januar mit dem in den Jahren 1853 und 1861 beobachteten graphisch zusammengestellt.

Wir werden später noch einmal auf diesen Gegenstand zurückkommen.

169 **Thermische Isanomalen.** Ein Blick auf die Karte der Jahresisothermen belehrt uns, wie ungleich die mittlere Jahreswärme an verschiedenen Orten desselben Breitengrades ist. Auf dem 60. Breitengrade z. B. ist die mittlere Jahrestemperatur auf dem Meere zwischen Asien und Amerika gleich 0°, an der Westküste der Hudsonsbay ist sie ungefähr — 6°, in der Nähe der Südspitze von Grönland wieder 0°; auf dem Meere nördlich von Schottland + 3,4, auf dem Ural 0° und im Inneren von Asien wieder — 7° R.

Ermittelt man mit Hülfe der Isothermenkarte durch Interpolation die mittlere Wärme für die auf demselben Breitengrade liegenden Punkte, deren Länge 10°, 20° u. s. w. bis 360° ist, so erhält man die mittlere Wärme für 36 gleichweit von einander abstehende Punkte desselben Parallelkreises. Nimmt man aus den 36 so erhaltenen Werthen das Mittel, so erhält man eine Zahl, welche Dove die normale Temperatur des Parallels nennt. Nach Dove's Bestimmungen sind Folgendes die Werthe der normalen mittleren Jahrestemperatur für die einzelnen Parallelkreise:

90° nördl. Breite . .	— 13,2° R.	20° nördl. Breite . .	+ 20,2° R.
80 „ „ . .	— 11,2	10 „ „ . .	21,3
70 „ „ . .	— 7,1	0 „ „ . .	21,2
65 „ „ . .	— 4,2	— 10 südl. Breite . .	20,4
60 „ „ . .	— 0,8	20 „ „ . .	18,7
50 „ „ . .	+ 4,3	30 „ „ . .	15,5
40 „ „ . .	10,9	40 „ „ . .	10,0
30 „ „ . .	16,8		

Mit Hülfe dieser Tabelle kann man nun leicht sehen, ob und wieviel die mittlere Jahreswärme eines Ortes höher oder tiefer ist als die normale mittlere Jahrestemperatur des Parallels. So ist z. B. die mittlere Jahrestemperatur von Petersburg, welches ungefähr unter dem 60. Brei-

Tab. 14.

Fig. 1.

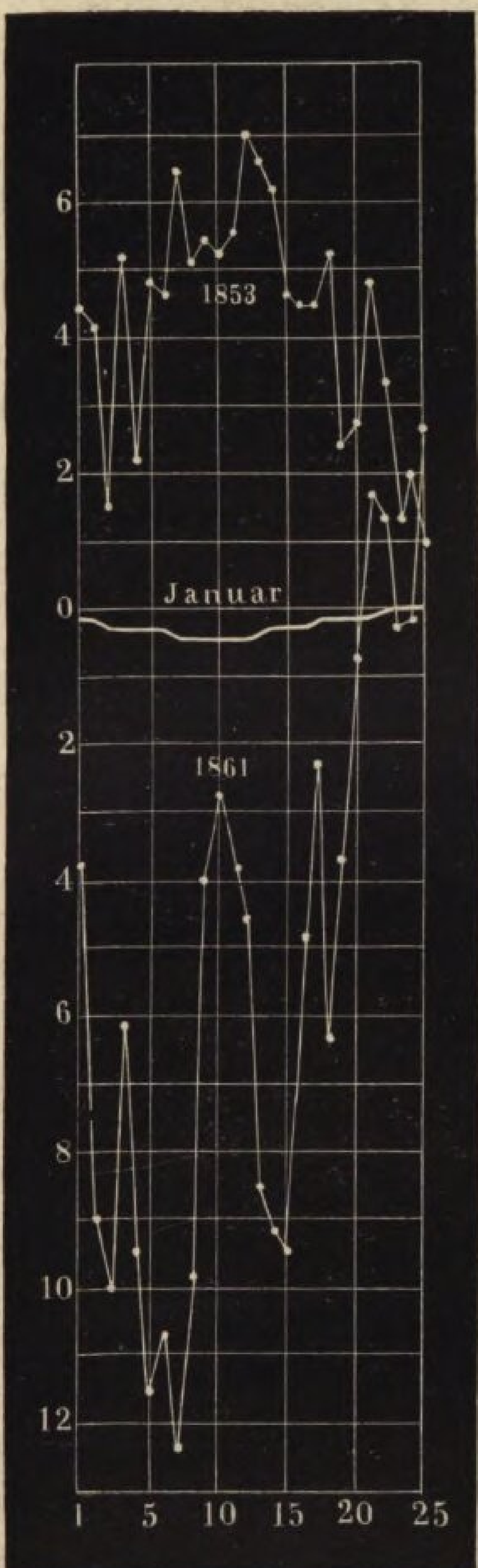


Fig. 2.

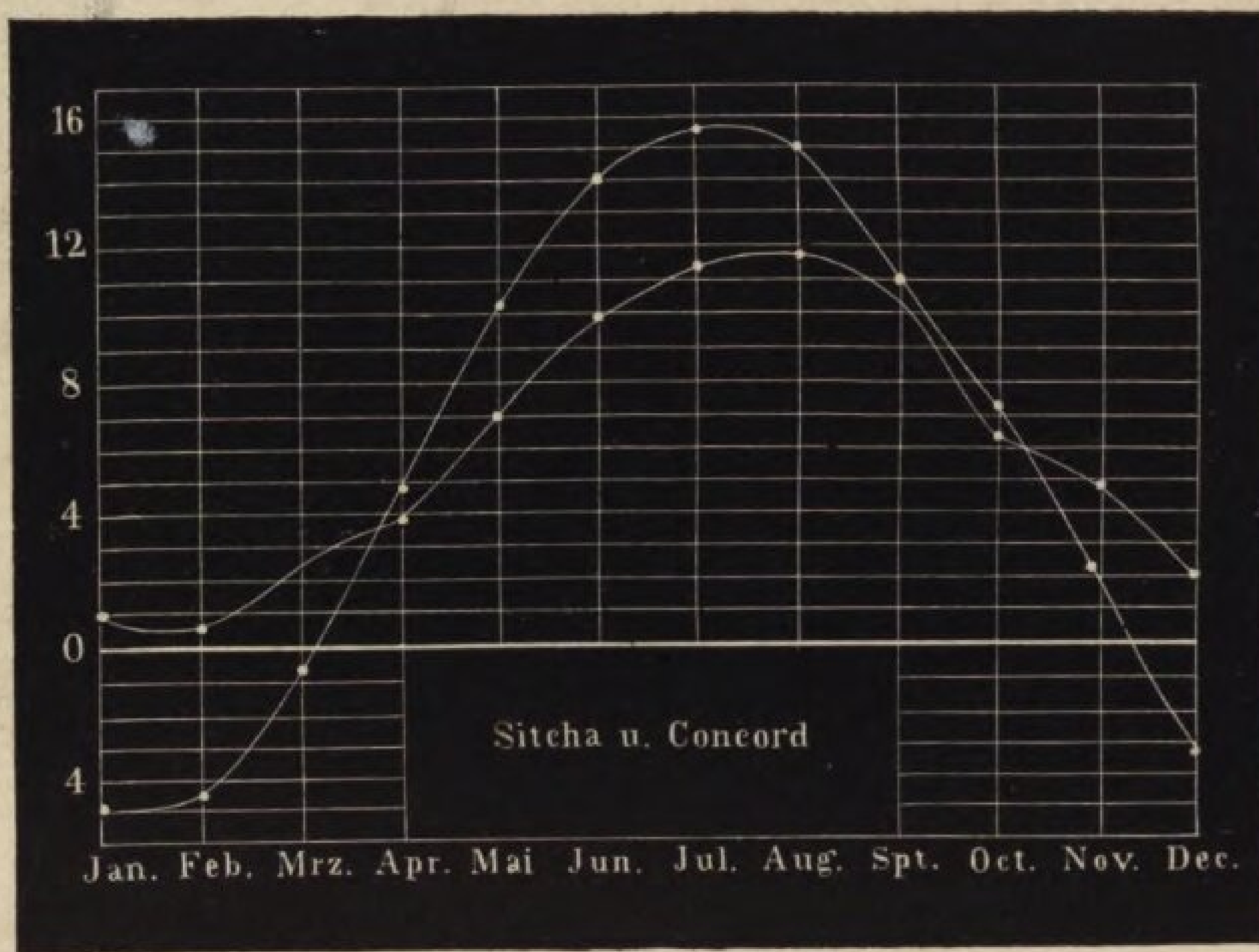
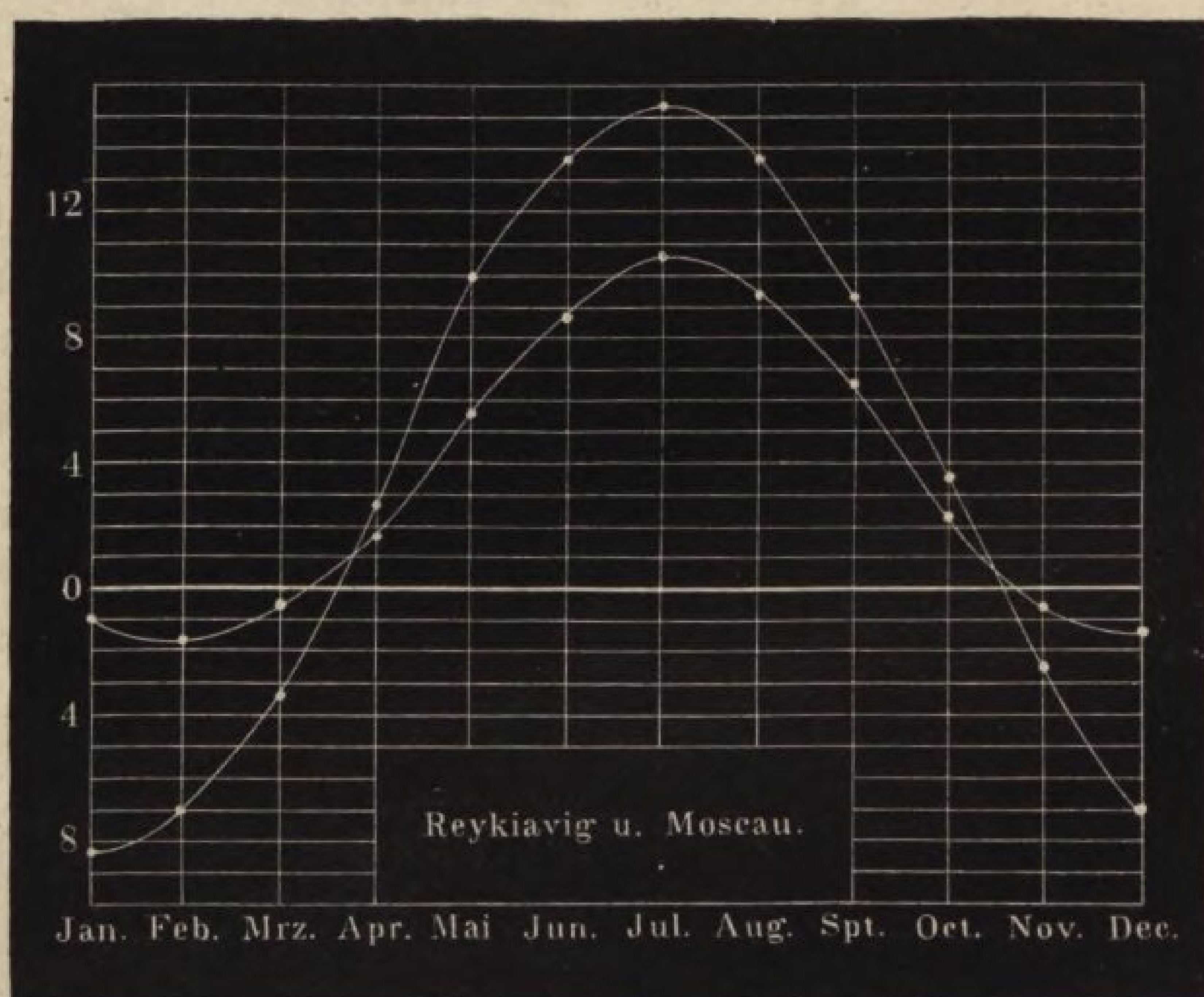


Fig. 3.



tengrade liegt, 3,4^0, also um 4,2^0 höher als die Normaltemperatur des Parallels oder, um es kurz auszudrücken, die mittlere Jahrestemperatur von Petersburg ist um 4,2^0 zu hoch. In gleichem Sinne ist dagegen die mittlere Jahrestemperatur von Nertschinsk, — 3,2^0, ungefähr um 6,8^0 zu niedrig, da die normale mittlere Jahreswärme für den Parallel von 51^0 15', unter welchem Nertschinsk liegt, wie sich durch Interpolation aus obiger Tabelle ermitteln lässt, + 3,6^0 beträgt.

Diese Differenz zwischen der mittleren Temperatur eines Ortes und der Normaltemperatur seines Parallels nennt Dove die thermische Anomalie. Mit dem Namen der thermischen Isanomalen bezeichnet er dagegen solche auf einer Karte gezogenen Curven, welche eine Reihe von Orten mit einander verbinden, denen eine gleiche thermische Anomalie zukommt. In der Karte Tab. XX sind die thermischen Isanomalen des Jahres eingetragen. Um die Uebersicht zu erleichtern, sind die Gegenden, in welchen die mittlere Jahreswärme zu hoch ist, weiss gelassen, diejenigen, in welchen sie zu niedrig ist, dagegen blau angelegt.

So übersieht man denn hier mit einem Blick, dass die mittlere Jahreswärme von ganz Europa, Kleinasien, Arabien, Persien, Ostindien und dem grössten Theile von Afrika und Australien höher ist als die Normaltemperatur des Jahres für die entsprechenden Parallelkreise; dagegen hat in gleicher Weise der ganze asiatische Continent bis auf die eben genannten südwestlichen Theile, und der Continent von Nordamerika bis auf die nordwestlichen Küsten und Florida eine zu geringe mittlere Jahreswärme.

Auf dieser Karte sehen wir aber auch, wie gross die thermische Anomalie eines jeden Ortes ist; wir sehen zum Beispiel, dass in der Mitte von Spanien, Sicilien und Moskau die mittlere Jahreswärme um 2^0, in Island, dem nördlichen Schottland, in der Umgegend von Drontheim um 6^0 zu hoch ist. Dagegen läuft eine thermische Isanomale von — 2^0 südwestlich von Fort Snelling vorbei, in der Nähe von Washington und Boston vorüber nach Neu-Foundland u. s. w.; zu Washington und Boston ist also die mittlere Jahrestemperatur um 2^0 zu niedrig.

In derselben Weise, wie die Curven der Karte Tab. XX aus den Jahresisothermen abgeleitet worden sind, hat Dove auch die Monatsisothermen benutzt, um die thermischen Isanomalen für jeden einzelnen Monat zu construiren. Tab. XXI und Tab. XXII enthalten die thermischen Isanomalen der Monate Januar und Juli.

Aus dem Laufe der thermischen Isanomalen des Januar ersehen wir, dass die mittlere Temperatur dieses Monats an den nordwestlichen Küsten von Nordamerika und namentlich an den westlichen Küsten von Europa viel zu hoch ist; dass dagegen dieser Monat im Inneren und an den Ostküsten von Nordamerika, sowie auf dem asiatischen Continent, und namentlich in Sibirien, viel zu kalt ist. In London ist die mittlere Temperatur des Januar um 8^0, in Drontheim ist sie um 12^0 zu hoch; dagegen ist sie am Michigan- und Huronsee in Nordamerika 6^0,

zu Jakutzk in Sibirien 17° niedriger als die Normaltemperatur der entsprechenden Parallelkreise für den genannten Monat.

Anders gestalten sich die Verhältnisse im Juli; in diesem Monate zeigt sich in Sibirien ein grösserer, in Europa nur ein unbedeutender Ueberschuss über die Normaltemperatur der entsprechenden Parallelkreise, während an den Ostküsten von Nordamerika auch dieser Monat zu kalt bleibt.

170 **Land- und Seeklima.** Die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche veranlasst eine ungleiche Erwärmung an verschiedenen Stellen, sie bedingt grossentheils die Richtung der Luft- und Meerströmungen, durch welche entweder die höhere Temperatur der Tropen nach den Polen hin, oder umgekehrt die Kälte der Polarmeere dem Aequator genähert wird; die Wirkung, welche die Sonnenstrahlen an irgend einem Orte der Erde hervorzubringen im Stande sind, hängt von der Configuration des Landes, von der Beschaffenheit des Bodens ab, sie wird durch die Richtung der herrschenden Winde, durch Gebirgszüge modificirt; die klimatischen Verhältnisse einer Gegend sind also das Resultat mannigfacher Ursachen, welche sich theils combiniren, theils gegenseitig modificiren, und welche bald mehr allgemeiner, bald mehr localer Natur sind, welche bald direct, bald indirect wirken. „Die physische Geographie,“ sagt Humboldt, „hat ihre numerischen Elemente wie das Weltsystem, und wir werden in der Kenntniss dieser Elemente in dem Maasse fortschreiten, als wir die Thatsachen besser benutzen lernen, um in ihnen die allgemeinen Gesetze mitten in dem Zusammenwirken der partiellen Störungen zu erkennen.“

Ganz abgesehen davon, dass die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche die Richtung der Luft- und Meerströmungen modificirt, bewirkt sie auch direct eine ungleiche Wärmevertheilung, weil das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbirend und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkaltet als das Meer, welches, überall von gleichförmiger Natur, wegen seiner Durchsichtigkeit und wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht so schnell abgiebt. Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger, sowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind hier ungleich geringer als in der Mitte der grossen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch grösser wird, dass an den Küsten der nördlich gelegenen Länder der Himmel meistens bedeckt ist, was sowohl den wärmenden Einfluss der Sonnenstrahlen im Sommer mässigt, als auch die starke Erkaltung des Bodens durch Wärmestrahlung im Winter hindert.

Inseln, welche mitten in einem grossen Meere liegen, Küsten und namentlich Halbinseln werden das weniger veränderliche Seeklima thei-

len, während die Unterschiede zwischen Sommer- und Wintertemperatur um so grösser sind, je weiter man sich von den Küsten entfernt. Schon in früheren Paragraphen wurden Beispiele angeführt, welche zeigen, wie bei gleicher mittlerer Jahreswärme die Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten oft sehr ungleich ist; wie an Orten, welche ein Küstenklima haben, die Temperaturschwankungen weit geringer sind als für solche Orte, welche mitten im Lande liegen.

So ist bereits angeführt worden, dass Edinburg bei gleicher mittlerer Jahreswärme doch mildere Winter und kühlere Sommer hat als Tübingen. Die Differenz der mittleren Temperatur des heissesten und kältesten Monats beträgt für Edinburg nur 9,5°, für Tübingen aber 15,7 Grad.

Die Tabellen auf Seite 456 bis 459 liefern Material genug, um den Unterschied zwischen Land- und Seeklima nachzuweisen; die folgende kleine Tabelle enthält die Zusammenstellung einiger besonders charakteristischer, obiger Tabelle entnommener Beispiele:

	Mittlere Temperatur des			Differenz.
	Jahres.	Januar.	Juli.	
Sitcha	5,97	1,02	11,16	10,04
Reykiavig	3,30	— 0,97	10,75	11,72
Bergen	6,57	1,34	12,62	11,28
Dublin	7,57	2,88	12,76	9,88
Concord	5,56	— 4,80	15,59	20,39
Moskau	3,57	— 8,19	15,29	23,48
Astrachan	8,02	— 8,60	19,98	28,58
Irkutzk	0,27	— 15,69	14,60	30,29
Jakutzk	— 8,25	— 34,43	16,35	50,78

Ein sehr anschauliches Bild des Unterschiedes zwischen Continental- und Küstenklima erhält man, wenn man nach der für Tab. 13 erläuterten Weise die jährlichen Variationen der Lufttemperatur für zwei Orte construirt, welche nahezu gleiche mittlere Jahrestemperatur haben, von denen aber der eine dem Continentalklima, der andere dem Küstenklima angehört, und die beiden Curven in einer Figur zusammenstellt, wie dies in Fig. 2 Tab. 14 für Sitcha und Concord (in der Nähe von Boston) und in Fig. 3 Tab. 14 für Reykiavig und Moskau geschehen ist.

Das Seeklima, welchem die vier erstgenannten Orte der obigen Ta-

belle angehören, ist besonders durch kühle Sommer und gelinde Winter charakterisirt, so dass die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heissesten und des kältesten Monats nicht sehr gross ist. Am entschiedensten tritt dieser Charakter des Seeklimas an den nordwestlichen Küsten von Amerika auf, wie man aus den Karten Tab. XXI und XXII am leichtesten übersehen kann. Der Juli ist hier zu kühl, der Januar viel zu warm.

Das Continentalklima, welchem die fünf zuletzt genannten Orte angehören, ist dagegen durch heisse Sommer und kalte Winter ausgezeichnet, daher der Unterschied zwischen der Temperatur des Januar und des Juli hier sehr gross ist, wie dies namentlich die Temperaturverhältnisse von Sibirien zeigen. Auch dies zeigen die Karten Tab. XXI und XXII auf den ersten Blick, indem Sibirien auf der Januarkarte blau, auf der Julikarte weiss, also in beiden Fällen gerade entgegengesetzt angelegt ist, wie die Nordwestküste von Nordamerika.

Aus den Karten Tab. XXI und XXII ersehen wir weiter, dass Europa fast normalen Sommer hat; die mittlere Temperatur des Juli ist nur wenig zu hoch, und dieser Ueberschuss wächst von Westen nach Osten hin, dagegen fallen die Westküsten Europas im Winter entschieden dem Seeklima anheim, indem hier die mittlere Januartemperatur weit höher ist als die Normaltemperatur dieses Monats für die entsprechenden Breitengrade.

Europa ist also unter allen Ländern gleicher geographischer Breite hinsichtlich seiner Wärmeverhältnisse in jeder Beziehung am meisten begünstigt, da es warme Sommer und gelinde Winter hat. Den Gegensatz zu diesem Verhältniss bildet Nordamerika, welches, den schmalen, bereits erwähnten Küstenstrich abgerechnet, im Sommer dem Küstenklima und im Winter dem Continentalklima anheimfällt, also bei sehr kalten Wintern verhältnissmässig kühle Sommer hat.

Welchen Einfluss solche klimatischen Verschiedenheiten auf die Vegetation ausüben müssen, ist klar. An mehreren Orten Sibiriens, in Jakutzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 8,25^0 ist, die mittlere Januartemperatur aber — 34,43^0 beträgt, wird während des kurzen, aber heissen Sommers Weizen und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 3 Fuss beständig gefroren bleibt; dagegen ist auf der Insel Island bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, sie zur Reife zu bringen.

Im nordöstlichen Island, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeiht die Myrthe so kräftig wie in Portugal, auf den Küsten von Devonshire überwintert die *Camellia japonica* und die *Fuchsia coccinea* im Freien; der Winter ist in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier; der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich starke Winterkälte vertragen

kann, aber eines heissen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und einen trinkbaren Wein liefern sollen. In Astrachan, welches mit dem Nordcap gleiche Winterkälte hat, reifen die herrlichsten Trauben. Ungarn bringt ausgezeichneten Wein hervor, obgleich seine Winter kälter sind als im nördlichsten Schottland, wo kein Obstbaum mehr gedeiht, ja selbst kälter als auf den Faröerinseln, wo auch die Buche und die Eiche nicht mehr fortkommt.

Ueberall, wo die mittlere Jahreswärme unter 17° ist, findet das Erwachen der Natur im Frühlinge in demjenigen Monate Statt, dessen mittlere Temperatur 6 bis 8° beträgt. Der Pfirsichbaum blüht, wenn die mittlere Temperatur eines Monats 5,5°, der Pflaumenbaum, wenn sie 8,2° erreicht. Die Birke schlägt bei einer mittleren Monatstemperatur von 11° aus; in Rom findet dies im März, in Paris Anfangs Mai, in Upsala in der Mitte Juni Statt, auf dem Nordcap kommt die Birke nicht mehr fort, weil die mittlere Temperatur des heissesten Monats nur 8,1° beträgt.

Ursachen der Krümmung der Isothermen. Bereits im 171
Eingange des vorigen Paragraphen ist erwähnt worden, dass die Luft- und Meeresströmungen einen wesentlichen Einfluss auf die klimatischen Verhältnisse der Länder ausüben, und sie sind es auch vorzugsweise, welche die Krümmung der Isothermen bedingen.

In der nördlichen gemässigten Zone sind die Südwest- und die Nordostwinde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern; dieser erwärmende Einfluss der Südwestwinde wird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, welche der südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und somit erklärt sich, dass die Westküsten der grossen Continente wärmer sind als die Ostküsten, dass die Isothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continents ist, und an den Westküsten von Nordamerika weiter nach Norden steigen als im Inneren von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika.

Ferner trägt eine unter dem Namen des Golfstroms bekannte Meeresströmung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der Ursprung dieses Stromes ist im mexikanischen Meerbusen zu suchen, wo das Meerwasser bis zu einer Temperatur von 24 bis 25° erwärmt wird. Zwischen Cuba und Florida aus dem mexikanischen Meerbusen heraustretend, folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich dann mit stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur östlich nach Europa hin zu wenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht bis an die Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein warmes Wasser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Südwestwinde, in den europäischen Gewässern, was schon daraus hervorgeht, dass man an den westlichen Küsten von Irland und an den Küsten von

Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heissen Zone Amerikas wachsen; die West- und Südwestwinde bleiben also lange mit einem Meerwasser in Berührung, dessen Temperatur zwischen dem 45. und 50. Breitengrade selbst im Januar nicht unter 7⁰ sinkt. Unter dem Einflusse dieses Golfstromes ist das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polareises getrennt; selbst in der kältesten Jahreszeit erreicht die Gränze des Polareises nicht die europäischen Küsten. Sabine fand zwischen dem 65. und 70. Breitengrade die mittlere Temperatur des atlantischen Oceans an der Oberfläche 4,5⁰, während bei gleicher Breite die mittlere Temperatur des europäischen Continents schon unter dem Gefrierpunkte ist.

Während so alle Umstände zusammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Asien mehrere Ursachen zusammen, um die Isothermen bedeutend herabzusenken. Im Süden von Asien liegen zwischen den Wendekreisen keine bedeutenden Ländermassen, nur einige asiatische Halbinseln ragen in die heisse Zone hinein; das Meer aber erwärmt sich nicht so stark wie die afrikanischen Wüsten, theils weil das Wasser die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfung von Wasser auf der Oberfläche des Meeres sehr viel Wärme gebunden wird. Die warmen Luftströme, welche, aus dem Becken des indischen Oceans aufsteigend, die Wärme der Tropen dem inneren und nördlichen Asien zuführen könnten, werden aber noch durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Asien aufgehalten, während das nach Norden hin allmälig sich verflachende Land den Nord- und den Nordostwinden preisgegeben ist. Während sich Europa nicht weit nach Norden erstreckt, ragt Asien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches, hier allen wärmenden Einflüssen entzogen, durch welche die Temperatur der europäischen Meere erhöht wird, fast immer mit Eis bedeckt ist. Ueberall reichen die Nordküsten von Asien bis an die Wintergränze des Polareises, und die Sommergränze dieses Eises entfernt sich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küsten; dass aber dieser Umstand die Temperatur bedeutend erniedrigen muss, ist klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung solcher Eismassen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Isothermen im Inneren von Nordamerika rührt vorzugsweise daher, dass dieser Continent in der Nähe seiner Westküste seiner ganzen Länge nach von einem mächtigen von Nord nach Süd streichenden Gebirgswall, dem Felsengebirge und den Cordilleren von Neumexico durchzogen wird, an welchem die vom grossen Ocean her wehenden Südwestwinde Wärme und Feuchtigkeit verlieren, während umgekehrt der ganze Landstrich zwischen dem Felsengebirge und dem Alleghanigebirge den kalten Nordwinden ausgesetzt ist.

Zu der bedeutenden Senkung an den Ostküsten von Nordamerika, welche gleichfalls nicht von warmen Seewinden getroffen werden, trägt

auch noch der Umstand bei, dass sie nicht wie die europäischen Küsten von wärmeren Gewässern bespült sind, sondern dass hier kalte Meeresströmungen von Norden nach Süden ziehen. Eine solche Strömung, von Spitzbergen herkommend, geht zwischen Island und Grönland hindurch und vereinigt sich dann mit den aus der Hudsons- und Baffinsbay kommenden Strömungen, um an der Küste von Labrador herab, bei Neufoundland vorbei zu treiben und sich unter dem 44. Breitengrade in den Golfstrom zu ergiessen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers selbst, theils durch schwimmende Eisberge in die südlicheren Gegenden.

Auf der südlichen Hemisphäre sind die Isothermen weit weniger gekrümmt als auf der nördlichen, was wohl vorzugsweise darin seinen Grund hat, dass der grösste Theil derselben mit Wasser bedeckt ist.

An den Westküsten von Südamerika macht sich eine bedeutende Annäherung der Isothermen gegen den Aequator hin bemerklich, wie man dieses sowohl bei den Jahresisothermen als auch bei den Isothermen des Januar und des Juli sehen kann. Es rührt dies daher, dass gerade an diesen Küsten eine vom Südpol gegen den Aequator gerichtete Meeresströmung die kälteren Gewässer des südlichen Eismeeres den niederen Breiten zuführt.

Eine ähnliche Strömung im südlichen Theile des atlantischen Oceans bewirkt, dass auch zwischen Brasilien und Afrika die Isothermen ihre convexen Gipfel dem Aequator zukehren.

Im Allgemeinen ist die südliche Hemisphäre kühler als die nördliche, wie sich schon daraus ergiebt, dass der grösste Theil des Gürtels, innerhalb dessen die mittlere Jahrestemperatur über 20° R. ist, zum grössten Theil auf die nördliche Hemisphäre fällt (Tab. XVI). Auch die Tabelle von S. 447 bis 452 bestätigt die eben ausgesprochene Behauptung.

Die geringere Wärme der südlichen Halbkugel mag ihren Grund wohl vorzugsweise darin haben, dass das Meer einen grossen Theil der seine Oberfläche treffenden Wärmestrahlen reflectirt, dass also überhaupt die Quantität der auf der südlichen Erdhälfte absorbirten Wärmestrahlen nicht so gross ist wie auf der nördlichen, weit mehr Land enthaltenden Hemisphäre.

Abweichungen vom normalen Gange der Wärme. Die 172
periodischen Schwankungen der Lufttemperatur treten nie rein auf, sie erscheinen stets mehr oder weniger durch unregelmässige Veränderungen alterirt. Wir brauchen nur die thermometrischen Beobachtungsreihen irgend eines Ortes mit Aufmerksamkeit zu verfolgen, um zu finden, wie verschieden der Gang der Wärme von einem Jahr zum anderen ist, wie bedeutend die aus den Beobachtungen gezogene mittlere Temperatur eines Monats in einzelnen Jahren von dem entsprechenden Mittel anderer Jahre sowohl wie von dem allgemeinen Monatsmittel abweicht.

Dove hat die nicht periodischen Aenderungen der Temperaturver-

theilung auf der Oberfläche der Erde einer genaueren Untersuchung unterworfen und die Resultate seiner Forschungen in einer Reihe von Aufsätzen niedergelegt, welche in den Jahrgängen von 1838 bis 1846 der Abhandlungen der Berliner Akademie veröffentlicht wurden. Man findet daselbst nicht allein die Resultate seiner mühevollen Studien, sondern auch eine Zusammenstellung des gesammten Beobachtungsmaterials, welches er zusammenbringen konnte, und welches die Basis seiner Untersuchungen bildet.

Ist einmal das allgemeine Mittel der Temperatur für irgend einen Monat an einem bestimmten Orte aus einer möglichst grossen Reihe von Beobachtungsjahren bekannt, so kann man leicht ermitteln, um wie viel die mittlere Temperatur desselben Monats für ein bestimmtes Jahr über oder unter dem entsprechenden allgemeinen Monatsmittel war. Wenn wir z. B. wissen, dass das allgemeine Monatsmittel für den December in Berlin 0,35°R. ist, dass aber die mittlere Temperatur dieses Monats im Jahre 1829 daselbst nur — 6,93°R. betrug, so ist klar, dass der December 1829 zu Berlin um 7,28°R. zu kalt war.

Solche Vergleichungen hat nun Dove in grosser Anzahl zusammengestellt. Die Tabellen auf Seite 476 u. 477 geben einen Auszug einer solchen Zusammenstellung für die Jahre 1829, 1834, 1857 u. 1859. Die Zahlen ohne Vorzeichen geben an, wieviel die mittlere Monatstemperatur in den genannten Jahren über, die negativen, wieviel sie unter dem allgemeinen Monatsmittel des Ortes war.

Wir sehen aus dieser Tabelle, dass der December 1829 in Europa sehr kalt war. In Paris war die mittlere Temperatur dieses Monats um 5,67, in Berlin war sie sogar 7,28°R. unter dem allgemeinen Mittel des Monats December. Diese Abweichung finden wir nun aber keineswegs in gleicher Weise an den übrigen in der Tabelle zusammengestellten Orten. In Petersburg und Kasan war der December 1829 freilich auch noch zu kalt, aber nicht so viel wie in Paris und Berlin, in Irkutzk dagegen finden wir schon einen merklichen Ueberschuss der mittleren Monatstemperatur; ebenso auf der Insel Island, während dieser Ueberschuss in Nordamerika noch bedeutender ist und zu Marietta 3,74°R. erreicht.

Aehnliche Verhältnisse, wenn auch nicht ganz so ausgezeichnet, finden wir im Januar 1829.

Zu Paris herrschte während des ganzen Jahres 1829 eine zu niedrige Temperatur; zu Berlin haben wir nur in den Monaten Juni und September einen ganz unbedeutenden Ueberschuss an Wärme, während an allen anderen auf der Tabelle verzeichneten Orten dieser Ueberschuss in mehreren Monaten bald mehr oder weniger bedeutend ausfällt. Namentlich zeigt Reykiavig in den Sommermonaten eine zu hohe Temperatur.

Für den Februar 1829 erstreckt sich die zu niedrige Temperatur über alle in unserer Tabelle verzeichneten Orte; der Unterschied vom

allgemeinen Mittel der mittleren Februartemperatur ist aber keineswegs überall gleich. In Marietta und in Petersburg war die Kälte am bedeutendsten, während in Reykiavig und in Irkutzk die negative Abweichung nur unbedeutend ist. Von Marietta nach Osten gehend finden wir eine Abnahme der negativen Abweichung; für England weisen Dove's Tabellen sogar eine, freilich unbedeutende positive Abweichung nach. Noch weiter nach Osten zu wächst die negative Abweichung wieder, um in Petersburg wieder ein Maximum von 4,07° R. zu erreichen und dann wieder bis Irkutzk abzunehmen, wo sie nur noch $^1/_2$ Grad beträgt.

Diese Verhältnisse berechtigen uns wohl zu der Annahme, dass östlich über Irkutzk hinaus im Februar 1829 eine positive Abweichung von der normalen Temperatur stattgefunden habe, dass im östlichen Asien, im westlichen Nordamerika und dem zwischenliegenden Ocean der Februar 1829 zu warm gewesen, und dass also hier der Gegensatz gegen die zu niedrige Temperatur zu suchen sei, welche zu jener Zeit im Osten von Amerika, in Europa und im westlichen Theile von Asien herrschte. Leider fehlt es an Beobachtungen aus jener fast 180 Längengrade umfassenden Gegend, welche unsere Vermuthungen bestätigen könnten.

Einen Gegensatz gegen 1829 bildet das Jahr 1834. Das westliche Europa hatte sich fast das ganze Jahr 1834 hindurch eines Ueberschusses an Wärme zu erfreuen, während wir auf der Tabelle für Island schon fast durchgängig negative Vorzeichen sehen. Der Januar 1834 war im ganzen westlichen Europa bedeutend über dem allgemeinen Mittel, während alle auf der Tabelle verzeichneten Orte mit Ausnahme von Paris und Berlin zu viel Kälte hatten.

Der December 1831 war in Nordamerika sehr streng, in Europa dagegen mild, wie man aus folgender Zusammenstellung der Abweichungen von dem entsprechenden Monatsmittel sieht:

Fort Armstrong	— 7,8
Marietta	— 6,0
Concord	— 5,5
Philadelphia	— 4,2
Reykiavig	— 1,4
Manchester	+ 2,48
Paris	+ 1,40
Danzig	+ 0,38

In Russland war dann der December 1831 wieder etwas zu kalt.

Gleichzeitige Witterungsverhältnisse verschiedener Gegenden. 173 Durch derartige Zusammenstellungen und Vergleichungen, wie wir sie im vorigen Paragraphen kennen lernten, hat Dove nachgewiesen:

1) dass grössere Abweichungen vom normalen Gange der

	Nordamerika.		Island.	Europa.			Nordasien.	
	Marietta.	Concord.	Reykiavig.	Paris.	Berlin.	Petersburg.	Kasan.	Irkutzk.
1 8 2 9.								
Januar	0,48	— 0,71	— 0,02	— 3,03	— 2,16	— 0,94	— 1,38	0,79
Februar	— 4,28	— 2,62	— 0,14	— 0,98	— 2,84	— 4,07	— 0,71	— 0,50
März	— 2,69	— 1,63	— 0,37	— 1,02	— 1,55	— 2,45	— 0,68	— 0,10
April	— 1,70	— 0,24	0,19	— 0,50	— 0,12	— 1,75	— 1,46	— 0,94
Mai	1,34	1,00	— 0,11	— 0,22	— 1,71	0,70	0,58	— 0,92
Juni	0,87	0,18	0,56	— 0,15	0,38	— 0,23	0,05	— 0,91
Juli	— 0,57	— 0,44	1,91	— 0,53	0,00	1,93	1,37	0,19
August	0,12	— 0,14	2,56	— 0,98	— 0,28	— 0,55	0,22	0,03
September	— 0,47	— 2,87	— 0,06	— 1,10	0,27	1,55	1,26	— 0,03
October	0,77	— 0,38	— 1,56	— 1,30	— 1,25	— 1,21	0,46	1,05
November	— 1,77	0,04	— 0,20	— 1,47	— 2,34	— 1,46	— 0,26	1,65
December	3,74	3,02	1,24	— 5,67	— 7,28	— 0,84	— 2,89	1,74
1 8 3 4.								
Januar	— 2,02	— 1,47	— 1,47	4,46	5,33	— 2,40	— 2,59	— 0,48
Februar	3,30	1,55	0,05	— 0,43	1,20	0,25	— 4,65	1,94
März	0,03	0,59	0,16	0,41	0,81	1,81	3,57	1,49
April	0,47	0,87	— 0,23	— 1,43	— 1,11	— 0,14	1,74	1,45
Mai	— 1,52	— 1,63	— 1,15	1,06	1,54	0,19	— 0,05	1,42
Juni	0,23	— 0,71	— 1,79	0,50	0,99	— 1,67	0,21	0,74
Juli	1,23	2,00	— 1,11	0,82	3,26	— 0,34	— 2,00	— 0,06
August	0,43	— 0,63	— 2,06	1,01	2,64	2,01	1,30	— 0,15
September	— 0,28	0,91	— 1,30	1,67	1,17	— 0,10	— 0,07	0,89
October	— 1,40	— 0,38	— 1,53	0,00	0,09	— 0,08	1,88	1,38
November	— 0,10	— 1,38	— 0,01	0,12	0,76	— 0,35	1,54	2,65
December	0,44	— 1,42	2,14	0,01	1,33	1,29	2,37	0,68

	Nordamerika.			Europa.			Nordasien.	
	Sitcha.	Marietta.	Concord.	Paris.	Berlin.	Petersburg.	Catherinenburg.	Nertschinsk.
				1857.				
Januar	— 1,18	— 5,62	— 3,38	— 0,40	— 0,17	0,58	1,79	— 1,81
Februar . . .	— 1,55	3,72	3,63	— 1,34	0,03	3,21	— 3,91	0,33
März	0,65	— 2,00	0,31	— 0,77	0,33	3,23	0,86	0,92
April	1,50	— 4,34	— 0,19	— 1,14	— 0,09	— 0,31	— 1,72	1,25
Mai	0,95	— 2,05	0,22	0,11	— 0,10	— 0,40	— 1,72	— 1,85
Juni	0,07	0,43	—	— 0,14	0,75	— 1,28	— 1,65	— 1,27
Juli	— 0,33	0,75	0,92	0,12	0,76	— 1,50	— 0,24	— 0,72
August	0,04	0,48	— 0,02	— 1,27	2,50	0,38	1,12	— 0,17
September . .	— 0,06	1,08	0,52	0,46	1,55	— 1,52	— 2,16	0,37
October . . .	0,38	— 0,02	— 0,30	— 0,26	2,36	1,39	— 2,19	0,34
November . .	1,45	— 0,92	1,38	0,54	— 0,75	0,84	— 2,19	0
December . .	1,57	3,23	2,34	0,37	2,52	4,07	— 0,52	1,30
				1859.				
		St. Louis.	Philadelphia.					
Januar	0,56	0,68	— 0,45	1,05	2,53	5,34	— 0,12	0,87
Februar . . .	— 2,33	1,35	1,84	1,31	2,28	3,56	3,09	— 0,79
März	— 0,46	2,10	3,16	1,71	2,75	0,74	0,27	0,98
April	0,14	— 1,99	— 0,68	0,93	— 0,75	1,15	4,54	2,43
Mai	— 0,70	1,16	0,96	0,19	0,31	1,65	— 0,59	1,08
Juni	0,29	— 0,44	— 0,38	0,82	1,13	1,75	2,21	— 0,49
Juli	— 0,35	0,52	0,00	3,39	2,21	— 1,01	— 0,22	— 1,24
August	— 0,72	0,06	0,59	1,68	2,31	— 0,73	— 1,60	0,06
September . .	0,10	— 0,84	1,06	0,18	— 0,05	— 0,31	— 0,65	0,13
October . . .	— 1,83	— 0,44	— 0,97	1,34	0,54	— 0,63	1,81	— 0,23
November . .	— 4,22	2,10	1,55	— 0,66	0,00	1,90	2,16	2,71
December . .	1,28	— 4,00	— 0,67	— 1,75	— 1,81	1,88	4,51	— 1,52

Temperatur nicht local auftreten, sondern dass sie sich gleichzeitig über grössere Strecken der Erdoberfläche verbreitet zeigen, dass dagegen

2) eine zu grosse Kälte oder zu grosse Wärme auch nicht gleichzeitig über die ganze Erde verbreitet ist, sondern dass jedes in irgend einer Gegend auftretende Extrem sein Gegengewicht in einer entgegengesetzten Abweichung an anderen Gegenden findet.

Es ist demnach höchst wahrscheinlich, dass stets dasselbe Quantum Wärme auf der Erdoberfläche verbreitet ist, dass aber die Vertheilung desselben ausser den periodischen Schwankungen auch nicht periodische Aenderungen erleidet.

Was nun die Verbreitung gleichartiger Witterungsverhältnisse betrifft, so finden sie sich häufiger in der Richtung von Süd nach Nord, als von West nach Ost, so also, dass die entgegegensetzten Extreme meist in der Richtung von West nach Ost neben einander liegen, wofür namentlich die Temperaturverhältnisse der Jahre 1829 und 1834 Beispiele liefern. So steht die Witterung in Europa häufig im Gegensatz zu der in Nordamerika und in Sibirien, während sie sich zu anderen Zeiten mehr der des einen oder des anderen Nachbar anschliesst.

Vollständig werden diese Verhältnisse erst hervortreten, wenn sich das Beobachtungsmaterial auch über den westlichen Theil von Amerika und den östlichen von Asien erstrecken wird.

Ob wir einen kalten oder milden Winter haben, ob der Sommer heiss oder gemässigt ist, das hängt davon ab, welche Windrichtung längere Zeit die herrschende ist. Wir werden weiter unten sehen, dass auf der nördlichen Hemisphäre, locale Störungen abgerechnet, Nordost und Südwest die herrschenden Winde sind, welche, neben einander herfliessend, sich abwechselnd zu verdrängen suchen. Während die Luft als ein breiter Südweststrom über bestimmte Länder und Meere vom Aequator in höhere Breiten strömt, wird dagegen an anderen Stellen ein entgegengesetzter Strom die Luft wieder dem Aequator zuführen. Der Nordost bringt uns aber, wie gleichfalls später nachgewiesen werden soll, kalte Winter und heisse Sommer, der Südwest hingegen milde Winter und kühle Sommer.

Ob also der Winter irgend eines Jahres in einer bestimmten Gegend strenger oder milder ist als gewöhnlich, wird demnach davon abhängen, ob diese Gegend zu jener Zeit in den Südwest- oder ob sie in den Nordoststrom aufgenommen ist, und ebenso sind die Abweichungen im Sommer von der gerade herrschenden Windrichtung abhängig.

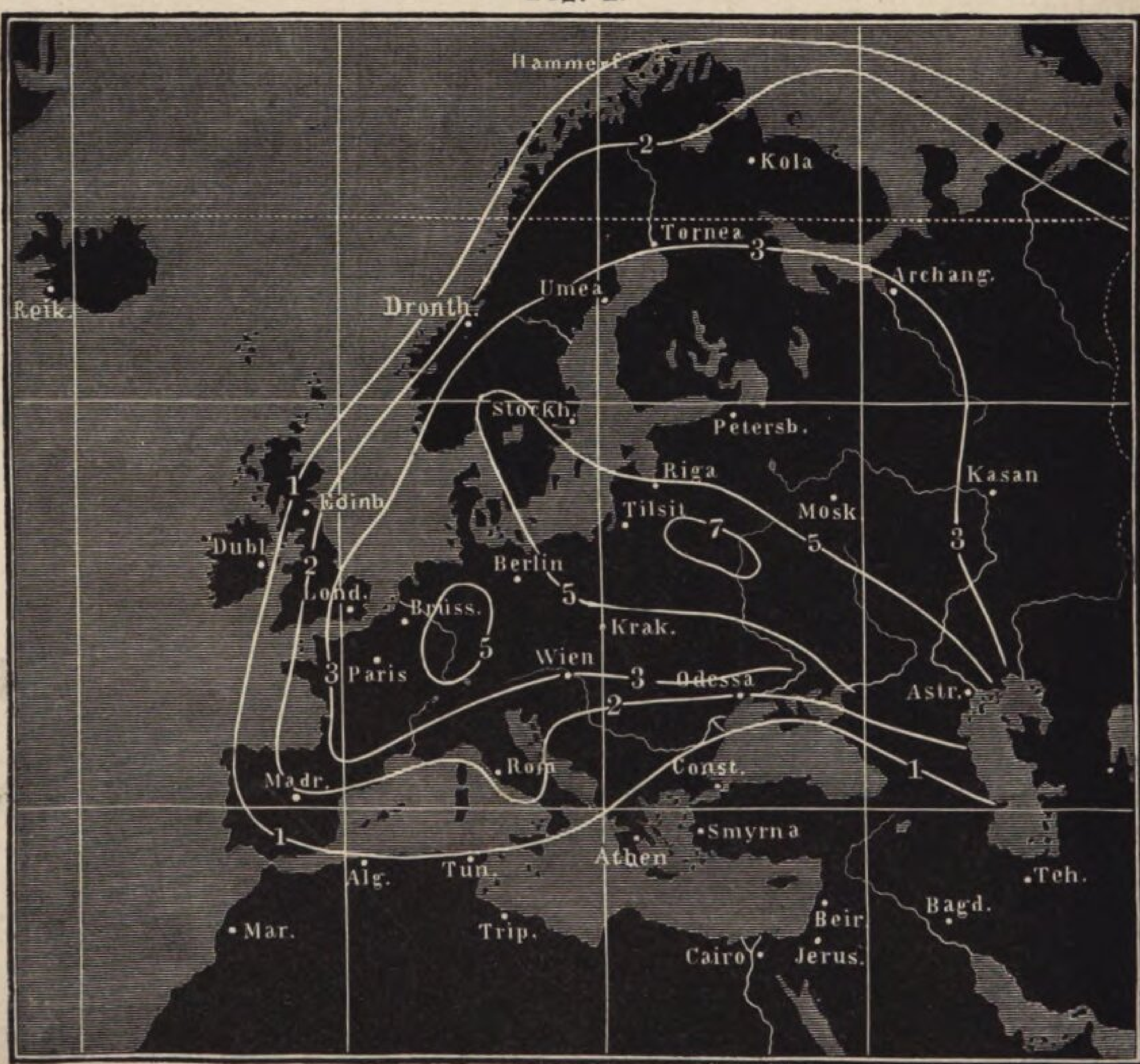
Da nun aber dieselbe Windrichtung nicht gleichzeitig über die ganze Hemisphäre herrschen kann, sondern Ströme entgegengesetzter Richtung neben einander herlaufen müssen, so ergiebt sich auch als eine nothwendige Folge dieses Verhältnisses, dass gleichnamige Abweichungen vom normalen Gange der Wärme ebenfalls nicht über die ganze

Fig. 1.



December 1829 ——— zu kalt ------ zu warm.

Fig. 2.



Februar 1845 ——— zu kalt.

Hemisphäre verbreitet sein können, sondern dass man auf demselben Breitengrade abwechselnd positive und negative Abweichungen finden muss. Herrscht z. B. im Januar in Europa der Südweststrom vor, so wird daselbst eine für diese Zeit ungewöhnlich milde Witterung herrschen, während dann in denjenigen Orten, auf welchen gleichzeitig der Nordost weht, der negative Gegensatz auftritt.

Manchmal, wenn auch nicht häufig, hält eine Abweichung nach gleichem Sinne längere Zeit an. So finden wir zu Paris das ganze Jahr 1829 zu kalt, und zu Berlin erheben sich nur die Monate Juni und September unbedeutend über das Mittel. Ein noch auffallenderes Beispiel der Art bietet die im westlichen Europa vom Juni 1815 bis zum December 1816 fortdauernde Kälte, welche die traurige Missernte von 1816 zur Folge hatte. Gleichzeitig erfreute sich Osteuropa einer milden Temperatur.

Der bedeutenden Getreideausfuhr Odessas von 1815 bis 1817 verdankt dieser Ort sein Aufblühen als Handelsstadt.

Das Jahr 1834 zeigt dagegen für das westliche Europa vorherrschend positive Differenzen. Ebenso die Jahre 1811, 1822 u. s. w., welche als vorzügliche Weinjahre bekannt sind.

Es ist eine ganz irrige Annahme, dass stets auf einen kalten Winter ein heisser Sommer folge. Guten Weinjahren geht im Gegentheile meist ein milder Winter oder Frühling vorher. So war es wenigstens 1811, 1819, 1822 und 1834.

Uebersieht man die in diesem und dem vorigen Paragraphen mitgetheilten Thatsachen und Gesetze, so ergiebt sich aus ihnen der Schluss, dass anomale Witterungsverhältnisse nicht kosmischen, sondern nur tellurischen Ursprungs sind.

Ein sehr anschauliches Bild der Wärmevertheilung in Europa im Laufe einiger ungewöhnlicher Winter hat Dove durch die Construction der thermischen Isametralen (Berlin 1864) gegeben, wie er die Linien gleicher Abweichung vom normalen Monatsmittel bezeichnet.

Von den sechs Karten mit Isametralen, welche Dove veröffentlicht hat, mögen hier die verkleinerten Copien einiger der interessantesten folgen.

Fig. 1 Tab. 15 stellt die gleichzeitigen Abweichungen vom normalen Monatsmittel für den December 1829 dar. Zu niedrige Temperatur ist durch ausgezogene, zu hohe ist durch punktirte Linien bezeichnet. In ganz Centraleuropa war es zu kalt, das Maximum der Abweichung vom normalen Monatsmittel mit — 9^0 fällt aber auf die Linie von Breslau nach Krakau. In Wien, Amsterdam und Wilna war es um 6^0 zu kalt. In Sicilien und Drontheim herrschte die normale Temperatur, im nördlichen Norwegen und in Lappland dagegen war es etwas zu warm.

Der Februar 1845 war in ganz Europa zu kalt, wie man aus Fi-

gur 2 Tab. 15 sieht, das Maximum der Kälte aber mit 7 Grad unter dem Mittel fiel nach Wilna.

Der November 1851, Fig. 1 Tab. 16, war im westlichen Europa zu kalt, im östlichen zu warm.

Fig. 2 Tab. 16 stellt die thermischen Isametralen Europas und des westlichen Asiens für den Januar 1848 dar.

174 **Veränderlichkeit monatlicher Mittel.** Von den klimatischen Verhältnissen einer Gegend geben die allgemeinen Monatsmittel noch kein vollständiges Bild. Man erhält dies erst, wenn man den Grad der Veränderlichkeit der Witterungsverhältnisse kennt, wenn man weiss, wie weit sich die monatlichen Mittel einzelner Jahre von dem entsprechenden allgemeinen Mittel entfernen können. Auch auf diesen Punkt hat Dove seine Aufmerksamkeit gerichtet. Er bestimmte für eine grosse Anzahl von Orten die absolute Veränderlichkeit, unter welcher er den grössten Spielraum versteht, innerhalb dessen die mittlere Temperatur der einzelnen Monate während einer möglichst grossen Reihe von Beobachtungsjahren schwankte. So ist z. B. die niedrigste mittlere Januartemperatur, welche seit 1719 im Laufe von 138 Jahren zu Berlin beobachtet wurde, die von 1823, welche — 9,36° R., die höchste aber die von 1796, welche + 4,92° R. betrug; die absolute Veränderlichkeit des Januar für Berlin ist demnach 14,28° R. Nach dieser Erläuterung ist die auf den Seiten 482 bis 485 stehende Tabelle grösster Abweichungen monatlicher und jährlicher Mittel verständlich, welche ein Auszug der von Dove gegebenen ist.

Die zweite Verticalreihe giebt die Anzahl der Beobachtungsjahre, während welcher die folgenden Differenzen vorkamen.

Aus der näheren Ansicht dieser Tabelle geht unmittelbar hervor:

1) Dass die absolute Veränderlichkeit der Temperatur zwischen den Tropen am geringsten, dass sie aber in den Gegenden der Moussons (Ostindien) bedeutender ist als in der Region der Passate.

2) In der gemässigten Zone, besonders an Orten eines noch nicht überwiegenden Seeklimas, wächst die absolute Veränderlichkeit mit der Annäherung an die kalte Zone, wie sich am deutlichsten durch die Vergleichung von Italien, den Alpen, Deutschland und Nordeuropa ergiebt.

3) Die Nähe bedeutender Gebirge scheint besonders die Veränderlichkeit während der Sommermonate zu steigern, wie sich namentlich aus der Vergleichung der entsprechenden Zahlen für die Alpen und für Deutschland ergiebt.

4) Im Seeklima ist die Veränderlichkeit gering. Entfernt man sich von den Küsten in das Innere der Continente, so nimmt die Veränderlichkeit anfangs zu, dann wieder ab. So ist die Veränderlichkeit in England kleiner als an den benachbarten Küsten des Continents, und hier wieder kleiner als im inneren Deutschland. Im nördlichen Asien ist die Veränderlichkeit wieder weit geringer als in Deutschland.

Tab. 16.

Fig. 1.



November 1851. ——— zu kalt. - - - - - zu warm.

Fig. 2.



Januar 1848. ——— zu kalt. - - - - - zu warm.

5) Die grösste Veränderlichkeit findet in den Wintermonaten Statt, während in der gemässigten Zone, namentlich in den Gegenden vorherrschender Sommerregen, der September der beständigste Monat ist.

Als mittlere Veränderlichkeit bezeichnet Dove den mittleren Werth aller in einem möglichst grossen Zeitraum für den gegebenen Monat vorgekommenen Abweichungen ohne Berücksichtigung des Zeichens derselben. Nach Dove's Berechnungen ist die mittlere Veränderlichkeit für

	Jan.	Febr.	März.	April.	Mai.	Juni.	Juli.	August.	Sept.	Octobr.	Novbr.	Decbr.	Mittel.
Sibirien und Ural . .	2,41	2,10	1,79	1,57	1,35	1,04	0,94	1,03	1,07	1,44	1,75	2,50	1,58
Nordöstliches Europa	2,54	2,27	1,70	1,31	1,39	1,03	1,19	1,12	0,87	1,18	1,53	2,34	1,47
Baltische Länder . .	1,70	1,68	1,39	0,99	0,97	0,86	1,06	1,05	0,70	0,99	1,18	1,61	1,18
Inneres Russland . .	2,50	2,10	1,74	1,41	1,13	1,21	1,29	1,31	1,20	1,17	1,51	2,80	1,61
Nördl. Deutschland .	2,16	2,03	1,58	1,28	1,16	0,91	1,04	1,08	0,87	1,07	1,32	2,11	1,38
Südl. Deutschland . .	2,09	1,65	1,37	1,35	1,21	0,97	1,02	1,05	0,93	1,03	1,29	1,82	1,32
Westeuropa	1,81	1,46	1,25	1,05	1,08	0,94	0,91	0,92	0,86	0,90	1,12	1,52	1,15
Schweiz	1,67	1,45	1,32	1,11	1,04	0,96	0,90	0,97	0,90	0,89	1,22	1,62	1,17
Italien	1,09	0,99	0,90	0,98	1,09	0,88	0,81	0,72	0,81	0,89	0,99	1,15	0,95
England	1,17	1,07	0,86	0,81	0,84	0,79	0,76	0,74	0,71	0,88	0,90	1,15	0,99
Oestliches Amerika .	1,41	1,51	1,20	0,88	0,88	0,76	0,72	0,74	0,79	0,86	1,09	1,41	1,02
Inneres Amerika . . .	1,86	2,10	1,66	1,46	1,13	0,94	0,93	0,90	1,04	1,21	1,42	1,71	1,36
Westamerika	1,75	1,56	1,15	0,57	0,63	0,58	0,69	0,63	0,51	0,65	1,52	1,53	0,98
Polarländer	1,54	1,27	1,80	1,17	1,08	0,92	1,36	1,18	0,95	1,26	1,24	1,56	1,27

Tabelle grösster Abweichung

		Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
Die Tropen.						
Calcutta . . .	8	5,23	4,62	3,64	3,22	2,00
Madras. . . .	21	3,42	3,24	4,98	7,47	4,40
Rio Janeiro .	7	2,66	1,55	1,83	1,27	2,33
Havanna. . .	7	3,40	4,20	2,28	2,24	1,80
Italien.						
Palermo . . .	39	5,93	5,66	3,78	4,75	3,68
Rom	20	3,98	5,34	2,42	3,54	4,53
Nizza	20	4,50	4,04	5,70	5,25	3,60
Mailand . . .	72	8,20	9,00	6,50	5,50	6,42
Mittel . .		5,47	5,38	5,32	4,67	4,88
Alpen.						
St. Bernhard .	21	8,26	6,64	7,41	4,13	3,93
Genf.	42	9,79	6,30	6,08	5,92	5,88
Insbruck . . .	52	11,52	10,43	9,26	8,32	6,50
München . . .	34	10,50	6,78	7,96	6,51	5,86
Mittel . .		8,89	7,09	6,66	6,45	5,26
Inneres Deutschland.						
Carlsruhe . .	40	9,38	8,35	8,76	6,66	5,15
Stuttgart . . .	43	14,09	9,08	6,28	8,27	5,66
Prag	15	10,54	9,17	6,33	4,27	5,49
Dresden . . .	10	8,98	6,49	6,34	4,23	5,25
Berlin	138	14,28	10,45	10,12	8,41	7,17
Mittel . .		9,44	7,83	5,97	4,74	5,45
Küsten des Continents.						
Paris	33	9,54	7,94	5,87	5,02	5,31
Harlem . . .	17	5,92	5,94	4,05	3,29	4,08
Elberfeld . .	12	5,88	4,36	3,27	2,76	3,83
Hamburg. . .	18	9,30	8,05	6,16	5,40	5,68
Danzig	24	9,07	6,96	6,15	5,35	6,12
Mittel . .		8,66	6,80	5,74	4,98	5,16

monatlicher und jährlicher Mittel.

Juni.	Juli.	August.	Septbr.	Octbr.	Novbr.	Decbr.	Jahr.
			Die Tropen.				
2,10	1,42	0,76	1,66	1,23	1,67	1,91	
2,71	3,29	2,53	2,44	1,73	2,76	2,27	1,98
1,24	1,24	2,66	2,40	1,17	1,88	1,29	
0,90	2,40	2,02	2,04	1,94	1,98	1,41	1,41
			Italien.				
4,35	3,82	3,24	4,71	3,54	3,93	5,07	1,76
5,30	3,50	3,88	4,56	3,34	4,11	4,44	2,01
7,60	3,90	4,45	3,75	4,35	4,25	4,45	3,55
5,51	4,60	5,28	6,89	5,20	5,20	6,80	2,78
5,17	3,68	4,45	4,26	4,25	4,77	5,29	2,21
			Alpen.				
5,66	6,21	3,54	5,65	5,02	8,17	6,29	2,29
5,89	5,06	5,14	4,27	5,09	6,37	7,53	2,24
4,99	6,46	8,93	6,13	7,46	8,47	13,03	4,45
5,20	5,22	6,49	5,79	4,47	5,23	9,17	2,57
5,06	4,99	5,36	4,65	5,10	5,99	9,10	2,59
			Inneres Deutschland.				
6,25	4,95	5,31	4,77	6,63	6,62	9,68	2,25
5,53	5,31	6,23	4,72	6,94	5,10	10,76	3,02
2,65	3,67	5,70	3,11	3,81	6,01	11,87	3,30
2,26	5,14	5,14	2,82	3,57	4,30	8,28	3,09
6,77	7,18	6,98	5,21	6,89	8,49	13,47	
3,95	4,71	5,01	3,41	4,45	5,23	9,72	2,57
			Küsten des Continents.				
4,67	4,00	4,70	3,86	4,88	5,40	9,70	2,35
4,18	3,84	3,97	2,64	4,20	4,41	8,72	2,65
5,55	3,78	4,75	3,97	3,54	4,84	0,53	2,12
4,28	5,05	5,28	3,15	6,00	4,56	8,32	2,46
5,98	4,19	6,14	4,26	3,81	5,55	9,14	3,58
5,00	4,54	5,30	3,79	4,56	5,48	9,11	2,69

Tabelle grösster Abweichun[g]

		Januar.	Februar.	März.	April.	Mai.
England.						
London . . .	52	9,47	5,91	5,73	4,86	4,73
Manchester . .	25	8,76	5,42	3,81	5,55	5,20
Dublin	17	6,68	5,01	5,71	4,62	3,08
Edinburgh . .	11	4,15	3,45	4,13	3,48	1,90
Mittel . .		5,88	4,86	4,14	3,97	3,88
Nordeuropa und Nordasien.						
Stockholm . .	16	10,59	9,10	7,15	6,36	5,06
Upsala	40	13,13	11,26	11,22	7,64	6,76
Torneo	31	11,66	14,67	9,93	8,00	9,67
Petersburg . .	14	7,37	9,32	8,19	6,38	5,32
Kasan	8	5,87	8,35	5,36	3,32	5,39
Irkutzk . . .	10	4,47	4,66	4,76	2,12	2,87
Mittel . .		10,51	10,29	8,17	6,96	5,99
Nordamerika.						
Salem	43	6,63	7,60	4,84	4,69	6,17
Marietta . . .	10	6,98	8,45	5,36	6,34	3,63
Montreal . . .	10	3,28	6,00	4,00	5,68	4,24
Mittel . .		5,98	6,53	4,76	4,96	4,84

monatlicher und jährlicher Mittel.

Juni.	Juli.	August.	Septbr.	Octbr.	Novbr.	Decbr.	Jahr.
England.							
4,27	4,76	4,58	4,25	4,84	4,80	7,39	3,02
5,07	5,34	3,15	4,18	4,31	5,33	5,19	2,27
3,19	3,15	3,95	3,73	4,26	4,99	4,74	3,04
4,13	2,41	3,69	2,94	2,00	3,83	3,51	1,42
3,98	3,51	3,63	3,63	4,20	4,40	5,04	2,18
Nordeuropa und Nordasien.							
4,72	5,57	5,62	4,10	5,48	5,65	10,06	3,30
5,73	5,51	4,78	4,78	7,44	8,56	11,03	3,10
9,28	7,22	7,70	9,20	8,20	8,48	12,58	0,96
4,44	5,41	4,83	3,62	3,60	5,46	9,22	3,17
4,16	3,37	4,78	2,38	4,50	7,06	10,47	
3,90	2,68	1,72	1,25	1,91	3,22	5,02	
5,76	5,54	5,82	5,35	6,76	7,43	9,66	2,64
Nordamerika.							
4,44	4,85	4,41	3,92	5,55	4,68	9,28	2,69
3,23	3,22	3,56	4,46	5,98	5,74	10,25	2,31
5,04	2,72	3,92	2,88	3,76	5,76	8,56	2,48
3,84	3,88	3,93	3,56	4,27	4,74	8,15	2,58

175 **Seculare Variationen des Klimas.** Die Frage, ob in historischen Zeiten das Klima verschiedener Länder eine merkliche Aenderung erlitten habe oder nicht, könnte nur dann mit Sicherheit beantwortet werden, wenn uns genaue meteorologische Beobachtungen wenigstens aus mehreren Jahrhunderten vorlägen. Bekanntlich aber ist die Erfindung des Thermometers selbst noch ziemlich neuen Datums und erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts hat man angefangen, regelmässig fortgesetzte Beobachtungen über den Gang der Lufttemperatur zu machen.

Glaisher glaubt aus den in England gemachten Beobachtungen eine allmälige Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur in England nachweisen zu können. Er fand nämlich von

1770	bis	1800	die mittlere Temperatur gleich	8,72°
1800	„	1829	„ „ „ „	9,17
1830	„	1860	„ „ „ „	9,44

Nach Dove weicht die aus der Periode von 1848 bis 1865 abgeleitete mittlere Jahrestemperatur für Berlin nur um $^1/_{100}$ Grad von dem aus 137 Jahren abgeleiteten Mittel ab.

Nach Loomis ist die mittlere Temperatur von New-Haven, wie sie sich aus den Jahren 1778 bis 1820 ergiebt, gleich 7,60, für die Zeit von 1820 bis 1865 aber nur 7,52 Grad.

Solche Resultate sind jedoch keineswegs sehr zuverlässig, weil sich nicht nachweisen lässt, ob die in verschiedenen Perioden angewandten Instrumente genau mit einander übereinstimmen, ob nicht eine etwas veränderte Aufstellung stattgefunden habe u. s. w.

Will man das Problem einer etwaigen Veränderung des Klimas mehrere Jahrhunderte weit zurückverfolgen, so bleibt nichts übrig als nach etwaigen Veränderungen der Flora und der Fauna zu forschen.

Aus der Thatsache, dass in Palästina heute noch Weinstock und Dattelpalme neben einander cultivirt werden, wie in biblischen Zeiten, schliesst Arago, dass sich das Klima jenes Landes seit 3300 Jahren nicht merklich geändert habe. Das Gleiche hält Arago auch für Aegypten, Griechenland und Rom und Biot hält es auch für China für wahrscheinlich, während manche andere Länder Veränderungen zeigen, welche auf eine Abnahme der mittleren Temperatur deuten.

So ist es z. B. eine Thatsache, dass in manchen Gegenden Frankreichs und Deutschlands vor Jahrhunderten Wein gebaut wurde, in welchen diese Cultur gegenwärtig eingegangen ist. Einen sicheren Schluss auf Verschlechterung des Klimas kann man daraus aber nicht ziehen, denn das Aufgeben des Weinbaues an Orten, welche für denselben weniger geeignet sind und welche nur sehr geringe Weine lieferten, kann auch daher rühren, dass man gegenwärtig bei den so sehr verbesserten Verkehrsverhältnissen mit weniger Kosten guten Wein beziehen, als schlechten bauen kann.

In den Alpen scheinen vielfache Thatsachen auf eine Verschlechterung des Klimas hinzudeuten. Es ist eine Thatsache, dass in früheren Jahrhunderten viele Alpengletscher weniger ausgedehnt waren als gegenwärtig. In der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts wurden Kinder aus dem Wallis nach Grindelwald zur Taufe auf einem Wege getragen, welcher jetzt völlig vereist ist. Eine Capelle, welche noch auf Schopf's Karte von 1570 verzeichnet ist, wurde wahrscheinlich zu Anfang des 17. Jahrhunderts durch den Gletscher zerstört. Eine ihr entstammende Glocke mit der Jahreszahl 1044 wird noch zu Grindelwald gezeigt.

Zu Gutannen im Haslithal wurde früher Hanf gebaut, eine Cultur, welche gegenwärtig wegen zu frühen Schneefalles nicht mehr möglich ist.

Sonst bezog man die Engstlenalp mit den Kühen schon am 21. Juni, während dies seit dem Ende des 18. Jahrhunderts erst 8 bis 10 Tage später geschieht. Die Rückkehr findet um einige Tage früher statt als sonst.

Es ist eine leider unzweifelhafte Thatsache, dass die obere Gränze des Waldes gegenwärtig um mehrere hundert Fuss niedriger ist als früher. Hoch über der jetzigen Waldgränze findet man noch Reste alter Wälder, abgestorbene Stämme, mächtige Wurzeln und Holzreste als Zeugen einer früher hier bestandenen kräftigen Vegetation.

Aus dem Vordringen der Gletscher lässt sich übrigens noch kein sicherer Schluss auf eine Erniedrigung der mittleren Temperatur ziehen, da die Lage des unteren Gletscherrandes von gar vielen zusammenwirkenden Ursachen abhängt, die sich meist einer eingehenderen Untersuchung entziehen. Ist es doch eine Thatsache, dass in den Alpen einige Gletscher vordringen, während andere gleichzeitig im Rückgang begriffen sind. Seit einigen Jahren sind die Gletscher des Berner Oberlandes, namentlich die Grindelwald- und der Rosenlaui-Gletscher sehr merklich zurückgegangen, ohne dass die mittlere Jahrestemperatur eine merkliche Erhöhung erfahren hätte.

Ebenso wenig kann man aus dem Herabsteigen der oberen Waldgränze einen sicheren Schluss auf eine Erniedrigung der mittleren Jahrestemperatur ziehen. Als unmittelbare Ursache dieser bedauernswerthen Thatsache muss man vielmehr den Umstand hervorheben, dass die Alpenbewohner bis jetzt so gut wie gar keine Sorgfalt auf die Erhaltung ihrer Wälder verwendeten, dass sie im Gegentheil möglichst bemüht sind, ihre Weiden zu vergrössern. Da nun die Weideplätze meist oberhalb der Wälder liegen, so werden diese zunächst an ihrer oberen Gränze angegriffen, und es bleiben nur einzelne Bäume, die Wettertannen, zum Schutze des Viehes stehen. Die Füsse des Rindviehs und die Zähne der Ziegen und Schafe lassen aber keinen jungen Wald mehr aufkommen. Dazu kommt noch, dass einzelne Waldstrecken absichtlich oder durch Zufall abgebrannt werden und dass Lauinen und Stürme vielfache Verheerungen in den ohnehin gelichteten Wäldern anrichten, ohne dass für Nachpflanzung gesorgt wird.

Das Aussterben der höher gelegenen Alpenwälder hat aber auch eine Verkümmerung der übrigen Vegetation zur Folge, indem sie weniger gegen Winde geschützt ist und Regengüsse den fruchtbaren Boden nun ungehinderter wegschwemmen können.

Als Beweis für die Abnahme der mittleren Jahrestemperatur hat man angeführt, dass die Cultur des Oelbaums früher an den Ufern des Genfer Sees heimisch gewesen sei, während sie jetzt daselbst nicht mehr möglich ist. In einer Abhandlung, welche im 10. Bande des *Bulletin de la société vaudoise des sciences naturelles* unter dem Titel *Notes sur le problème de la variation du climat* erschien und in welcher der in diesem Paragraphen besprochene Gegenstand unter Angabe der Quellen ausführlich besprochen wird, hat aber Dufour nachgewiesen, dass hier ein Irrthum vorliegt. Die Früchte einzelner in Gärten als Curiosität gezogener Oelbäume kamen nie zur vollen Reife.

Als Beweis für die früher am Genfer See betriebene Cultur des Oelbaums wird angeführt, dass sich in den Archiven von St. Saphorin die Notiz finde, dass dereinst eine Abgabe in Oel geleistet worden sei, welches von in der Umgebung gezogenen Oelbäumen gewonnen worden war. Dufour weist aber nach, dass in alten Urkunden allerdings die Lieferung gewisser Quantitäten Oel erwähnt wird; von Olivenöl ist aber nirgend die Rede, wohl aber wird öfters Nussöl genannt.

In der genannten Abhandlung giebt Dufour von 1480 an, so weit es ausfindig zu machen war, das Datum der Weinlese zu Lausanne und einigen anderen Orten in der Umgebung des Genfer Sees. Die früheste Lese (17. und 16. September) fand in den Jahren 1503 und 1822, die späteste (am 12. November) in den Jahren 1698 und 1816 Statt. In der letzten Hälfte des 17. und in den ersten zwei Dritteln des 18. Jahrhunderts war die Weinlese durchschnittlich um ungefähr 12 Tage später als im 16. und in der Hälfte des 17. Jahrhunderts. In der letzten Hälfte des 18. Jahrhunderts wurde die Lese wieder frühzeitiger, wie sie denn auch in dem gegenwärtigen Jahrhundert durchgängig früher ist, als in den ersten 60 Jahren des vorigen, ohne jedoch so früh zu fallen, wie im 16. Jahrhundert.

Die Variationen der Zeit der Weinlese sind übrigens nicht allein durch meteorologische Verhältnisse, sondern auch durch die Culturart, durch die gepflanzten Traubensorten u. s. w. bedingt. Jedenfalls sind die Variationen der Lesezeit nicht der Art, dass man daraus mit Sicherheit auf eine Veränderung des Klimas schliessen könnte.

Bei den klimatischen Veränderungen eines Landes spielt übrigens nicht allein die Wärme, sondern auch die atmosphärische Feuchtigkeit eine wesentliche Rolle, und verschiedene Thatsachen deuten darauf hin, dass in historischen Zeiten die Feuchtigkeit in Europa merklich abgenommen hat.

In nördlicheren Gegenden ist ein allmäliges Aussterben gewisser Pflanzen zweifellos nachgewiesen. So ist die Rothtanne, Pinus picea,

in Irland, wo sie sonst schöne Wälder bildete, vollständig ausgestorben. In Island fanden sich früher Birkenwälder, von welchen jetzt nichts mehr zu sehen ist. Auch auf den shetländischen Inseln gab es früher Birken; jetzt sind sie daselbst völlig verschwunden.

In Lappland findet man abgestorbene Birkenwälder, welche ihre weissen Stämme und Aeste wie Skelette in die Luft strecken.

An der Ostküste von Grönland bestand noch im Jahre 1406 eine Colonie von 190 Dörfern, welche seitdem, durch Eis von allem Verkehr abgeschnitten, zu Grunde gegangen ist. Erst 1822 fand Scoresby die Küste wieder eisfrei und sah die menschenleeren Wohnungen mit Jagd- und Hausgeräthe.

Abnahme der Temperatur in höheren Luftregionen. 176

Die Erwärmung der Luft rührt einerseits daher, dass sie einen Theil der sie durchdringenden Sonnenstrahlen absorbirt, andererseits daher, dass sie mit dem durch die Sonnenstrahlen erwärmten Boden in Berührung ist. Die letztere Wärmequelle ist weitaus die bedeutendste.

Die durch Berührung mit dem Boden erwärmte Luft wird eben durch die Erwärmung ausgedehnt, ihr specifisches Gewicht nimmt ab und deshalb steigt sie in die Höhe, die vom Boden erhaltene Wärme mit sich führend. Allein diese Wärme macht sich in den höheren Luftregionen keineswegs durch eine bedeutende Temperaturerhöhung geltend; denn beim Aufsteigen nimmt die Dichtigkeit der Luft fortwährend ab und die Abnahme der Dichtigkeit ist in Folge der bei der Ausdehnung geleisteten Arbeit von einer fortwährenden Wärmebindung begleitet. Daraus folgt nun, dass die höheren Luftschichten kälter sein müssen als die tieferen.

Dass eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höheren Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge besteigen.

Die Abnahme der Temperatur bei verticaler Erhebung kann nicht leicht ein regelmässiges Gesetz befolgen, weil die beständigen Luftströmungen, Wolken-, Nebelschichten u. s. w. einen mehr oder weniger störenden Einfluss ausüben.

Gay-Lussac stieg im Jahre 1804 in einem Luftballon bis zur Höhe von 21 000 Fuss; während das Thermometer am Boden 24,8^0 R. zeigte, beobachtete er in jener Höhe die Temperatur von — 7,6^0R., also eine Temperaturdifferenz von mehr als 32 Graden. Barral und Bixio, welche am 27. Juli 1850 ungefähr zu gleicher Höhe aufstiegen, gelangten in einer Höhe von 6000 Fuss in eine Nebelschicht, deren obere Gränze erst erreicht wurde, nachdem sie sich bis zu einer Höhe von 20 000 Fuss über dem Boden erhoben hatten. Nahe an der oberen Gränze dieser Nebelschicht zeigte das Thermometer noch — 8^0R., sank

aber unmittelbar über derselben auf — 18,4° R. In einer Höhe von 21 000 Fuss zeigte das Thermometer nur noch — 32° R.

Tab. 17 giebt eine vergleichende Uebersicht der thermischen Beobachtungen, welche bei drei der im Jahre 1852 in England unternommenen wissenschaftlichen Luftschifffahrten angestellt worden sind. Die Zahlen auf der rechten und auf der linken Seite der Figur geben die nach Pariser Fussen gemessenen Höhen; die Zahlen, welche auf den schraffirten Streifen stehen, geben die an den entsprechenden Stellen beobachteten Temperaturen in Réaumur'schen Graden an. So sehen wir z. B., dass bei der Luftfahrt vom 17. August in einer Höhe von 11 000 Fuss die Temperatur von + 2° R., bei der Luftfahrt vom 10. November aber dieselbe Temperatur in einer Höhe von 4000 Pariser Fuss beobachtet wurde.

Der besseren Uebersicht wegen sind die Luftschichten, innerhalb deren die Temperatur über 10°, zwischen 10 und 0°, zwischen 0 und — 10° und unter — 10° betrug, durch verschiedene Schraffirung unterschieden.

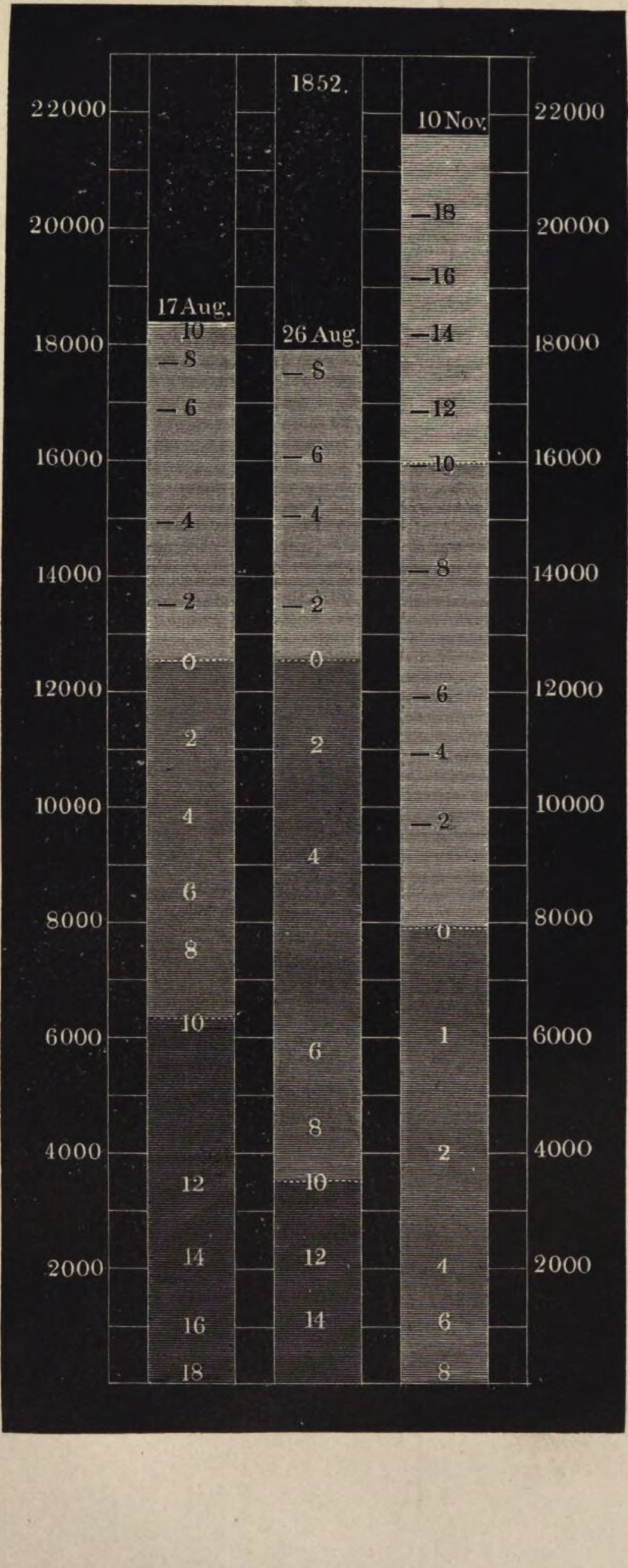
Auf hohen Bergen zeigt schon die Veränderung der Vegetation die Abnahme der Temperatur an: je höher man steigt, desto mehr nimmt die Vegetation den Charakter kälterer Himmelsstriche an; am auffallendsten zeigt sich dieser Wechsel in den Tropen; besonders grossartig erscheint er aber an den ungeheuren Gebirgen Südamerikas, wo man in einem Tage aus den Wäldern von Palmen und Bananen bis zu den Gränzen des ewigen Schnees aufsteigen kann.

So finden wir denn auch manche Alpenpflanzen im höchsten Norden Europas wieder, wie z. B. *Drias octopetala*, welche auf Nowaja Semlia ihre lieblichen Blüthen eben so schön entwickelt, wie auf den duftigen Alpenmatten.

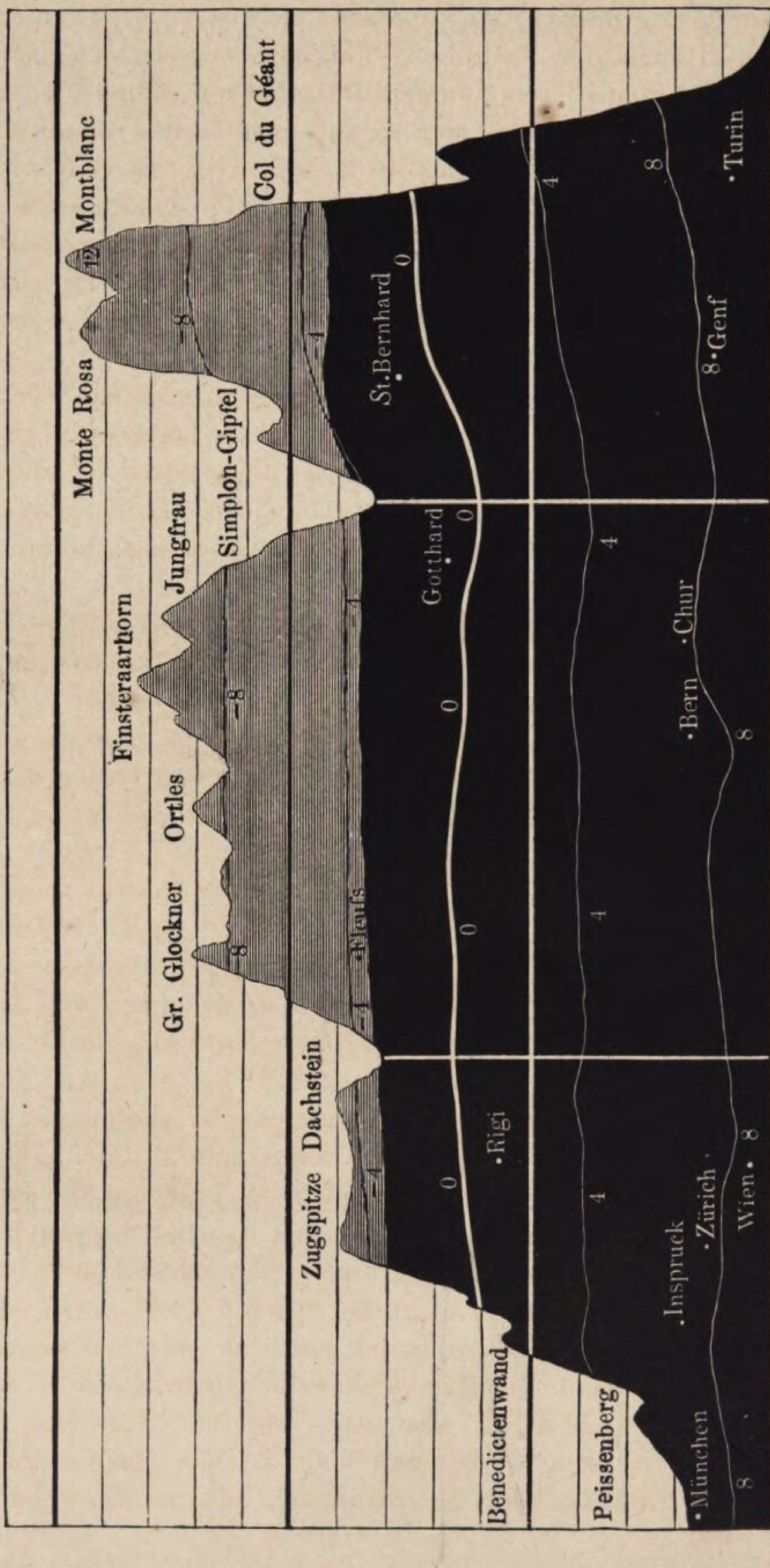
Wie in der Andeskette und den mexicanischen Gebirgen die mittlere Temperatur mit der Höhe über der Meeresfläche abnimmt, übersieht man aus folgender von Humboldt gegebenen Tabelle.

Höhe über der Meeresfläche in Pariser Fussen.	Mittlere Temperatur.	
	Cordilleras de los Andes.	Mexicanische Gebirge.
0	22° R.	20,8° R.
3000	17,6	15,8
6000	14,4	14,4
9000	11,3	11,0
12000	5,6	6,0
15000	1,2	0,8

Tab. 17.


1852.
17 Aug.
26 Aug.
10 Nov.
22000
20000
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000

Tab. 18.



Montblanc
Monte Rosa
Col du Géant
Simplon-Gipfel
Jungfrau
Finsteraarhorn
Ortles
Gr. Glockner
Zugspitze
Dachstein
Benedictenwand
Peissenberg
St. Bernhard
Gotthard
Rigi
München
Inspruck
Zürich
Wien
Bern
Chur
Genf
Turin

Da sich in der heissen Zone die Temperatur der Luft im Laufe eines Jahres nur wenig ändert, so kann man sich von der Temperatur in verschiedenen Höhen der Andeskette die beste Vorstellung machen, wenn man sie mit der mittleren Temperatur gewisser Monate in höheren Breiten vergleicht. So findet man in den Ebenen des Orinoco täglich eine Temperatur, welche noch um 4° R. höher ist als die mittlere Temperatur des Monats August in Palermo; zu Popayen, 5400 Fuss über dem Meere, findet man die Temperatur der drei Sommermonate in Marseille; zu Quito die Temperatur von Paris während der letzten Hälfte des Mai, in den Paramos (11000 Fuss) die Temperatur von Paris während der ersten Hälfte des April.

Man kann sich an den Abhang grosser Gebirgsmassen isothermische Linien gelegt denken, welche mehr oder weniger als horizontale Curven erscheinen werden. So zieht sich um den Fuss der Andeskette eine Isotherme von 22°. Da wo eine 6000 Fuss hohe Ebene in die Masse der Andeskette einschneidet, befindet sich ungefähr die Isotherme von 14° R. u. s. w.

Die Isotherme von 0° wird an der Andeskette durch eine Reihe von einander getrennter in sich geschlossener Curven, welche um die isolirten Schneekuppen herumziehen, repräsentirt sein.

So folgen sich denn hier in verticaler Richtung in ganz kurzen Entfernungen von einander die Isothermen in gleicher Ordnung, wie man sie durchschneidet, wenn man von dem Aequator bis in die Polargegenden wandert.

Wie die Isothermen in den Alpen über einander liegen, zeigt die von Schlagintweit (Poggendorff's Annalen LXXXII) entlehnte Tab. 18.

Da Humboldt für die südamerikanischen Gebirge unter dem Aequator eine Temperaturabnahme von 20° R. für eine Erhebung von 15 000 Fuss gefunden hat, so ergiebt sich dort im Durchschnitt eine Erhebung von 750 Fuss für eine Temperaturabnahme von 1° R.

Kennt man für eine Gegend die Höhendifferenz, welche einer Temperaturerniedrigung von 1° R. entspricht, so kann man aus der mittleren Temperatur eines höher gelegenen Ortes annähernd genau die mittlere Temperatur berechnen, welche sich unter sonst gleichen Umständen im Niveau des Meeres finden würde; dividirt man nämlich mit dem Höhenunterschiede, welcher einer Temperaturdifferenz von 1° R. entspricht, in die Höhe des Beobachtungsortes, so findet man, um wie viel Grade die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres höher sein würde. Auch in den Alpen entspricht durchschnittlich eine Erhebung von 750 Fuss einer Temperaturerniedrigung von 1° R.; nun aber ist das Hospiz auf dem St. Bernhard 7670 Fuss über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur ist also um $\frac{7670}{750} = 10{,}2^0$ R. niedriger als am Meeresspiegel; da aber die mittlere Temperatur auf dem St. Bernhard — 0,8° R. ist, so ergiebt sich für die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres 9,4° R.

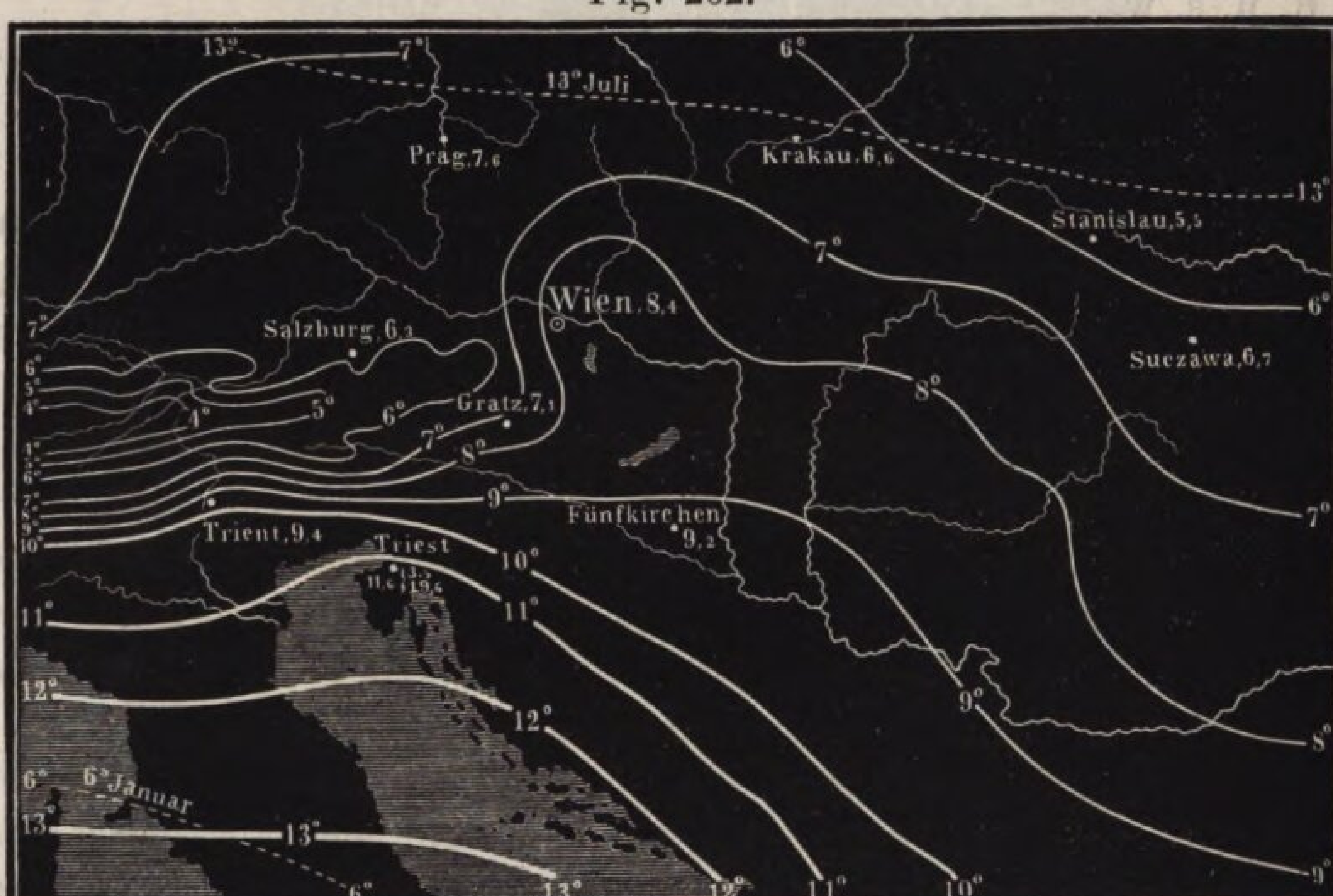
Genf liegt 1218 Fuss über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur 8,2° R. ist demnach $\frac{1218}{750} = 1{,}6^0$ R. niedriger als sie sein würde, wenn Genf im Niveau des Meeres läge; seine Temperatur würde also für diesen Fall $8{,}2 + 1{,}6 = 9{,}8^0$ R. betragen.

Die mittlere Temperatur der südöstlichen Schweiz, auf den Meeresspiegel reducirt, wäre demnach 9,4° bis 9,8° R.

Die Isothermen auf der Karte Tab. XVI, sowie die Isotheren und Isochimenen auf der Karte Seite 454 sind so gezogen, wie diese Linien laufen würden, wenn alle Orte in der Höhe des Meeresspiegels lägen; die Temperatur der verschiedenen Orte ist also auf das Niveau des Meeres reducirt.

In Ländern, welche von Gebirgsketten namhafter Höhe durchzogen sind, ist der Verlauf der Isothermen natürlich ein ganz anderer, als er nach den Andeutungen der in §. 166 besprochenen Isothermenkarten sein würde, wie man dies z. B. aus dem Kärtchen Fig. 262 ersieht, welches

Fig. 262.



die Jahresisothermen für den österreichischen Staat und benachbarter Länder nach Réaumur'schen Graden darstellt. Dieses Kärtchen, welches dem 3. Hefte von Petermann's Mittheilungen für 1864 entnommen ist, lässt den Einfluss des Alpensystems auf den Verlauf der Isothermen deutlich hervortreten.

Der Verlauf der Isothermen in gebirgigen Ländern wird der Natur der Sache nach einige Aehnlichkeit mit dem Verlauf der Isohypsen (Linien gleicher mittlerer Höhe über dem Meeresspiegel) haben, und zwar wird diese Aehnlichkeit um so mehr hervortreten, je grösser der Maassstab der Karten gewählt ist, je mehr man also bei der Darstellung der Höhenschichten sowohl als auch der Isothermen ins Detail eingehen kann.

Temperaturschwankungen in höheren Luftregionen. 177
Für Gebirge, welche nicht bedeutend ausgedehnte Hochebenen bilden, sondern vorzugsweise durch hohe Kämme und Gipfel gebildet werden, wie dies z. B. für die Alpen der Fall ist, sind die Temperaturschwankungen in der Höhe weit geringer als in der Tiefe, weil isolirte Berge und Bergreihen auf die Temperatur der höheren Luftregionen nur einen unbedeutenden Einfluss ausüben können, und weil die periodischen Temperaturschwankungen des Bodens in der Ebene, welche sich zunächst den unteren Luftschichten mittheilen, in der Höhe in ihrer Wirkung schon abgeschwächt sind, ehe sie merklich werden.

So fand z. B. Kämtz auf dem Rigi als Mittel aus einer Beobachtungsreihe von mehreren Wochen die Differenz des täglichen Maximums und Minimums = 3,04⁰R., während diese Differenz zu Zürich gleichzeitig 7,6⁰ R. betrug.

Auf dem St. Bernhard beträgt (Tab. S. 456) die Differenz zwischen den mittleren Temperaturen des wärmsten und des kältesten Monats nur 12,38⁰ R., während für Genf dieser Unterschied auf 18,09⁰ R. steigt.

Da nun die Schwankungen der Temperatur benachbarter, aber ungleich hoch gelegener Orte einander nicht parallel gehen, so ist klar, dass die Temperaturdifferenz zwischen zwei solchen Orten nicht constant bleiben kann, dass sie mit der Jahreszeit sich ändert. So beträgt die Differenz der mittleren Januartemperatur für Genf und den St. Bernhard nur 6,52⁰ R., während der Unterschied der mittleren Julitemperatur 12,23⁰ R. ist.

Daraus folgt dann auch, dass die Höhe, um welche man sich erheben muss, damit die Temperatur um 1⁰ R. sinkt, nicht für alle Zeiten des Jahres dieselbe ist; sie ist grösser im Winter, kleiner im Sommer.

Die Einwirkung des erwärmten Bodens kann sich nur nach und nach auf die höheren Luftschichten erstrecken. Es ist also immer eine mehr oder weniger bedeutende Zeit nöthig, bis sich die in der Tiefe stattfindenden Temperaturschwankungen in grössere Höhen fortpflanzen; dadurch aber wird nothwendiger Weise die Zeit des täglichen und des jährlichen Maximums verschoben, und zwar muss es auf den Höhen später eintreten als im Thal. Den Beobachtungen von Kämtz zufolge findet in der That in den Sommermonaten auf dem Rigi (5000 Fuss hoch) das Maximum der Temperatur erst um 5 Uhr Nachmittags Statt.

Ebenso ist die Zeit des jährlichen Temperaturmaximums auf hohen Bergen verrückt. Während in Genf der Juli entschieden der heisseste Monat ist, ist auf dem St. Bernhard die mittlere Temperatur des Juli und des August fast gleich; es ist also offenbar die Zeit der grössten Wärme gegen den August hin verschoben.

Bei plötzlich eingetretener strenger Winterkälte kommt es öfters vor, dass es an höher gelegenen Orten wärmer ist als an tiefer gelegenen. So stand zu Dresden das Thermometer am 23. Januar 1823 auf — 27⁰ R., während es auf dem Königsstein nur — 17⁰ zeigte. Am 22. Januar

1850 fiel das Thermometer auf dem Brocken nur auf — 9° R., während es auf der umgebenden Niederung auf — 20° fiel.

Noch ein anderer Umstand veranlasst manchmal, dass es in der Höhe wärmer ist als in der Tiefe, wenn nämlich bei windstillem Wetter die Thäler mit Nebel bedeckt sind, während sich die Höhen des Sonnenscheins erfreuen, wie dies in Gebirgsgegenden im Spätherbst und im Winter öfters der Fall ist. So ist z. B. das Aarethal bei Solothurn in den letzten Monaten des Jahres oft Wochen lang in Nebel gehüllt, während man von der Höhe des Weissensteins bei herrlichem Sonnenschein das wogende Nebelmeer übersieht, aus welchem einzelne Anhöhen gleich Inseln hervortauchen, während im Süden die lichten Alpenfirnen diese einförmige Nebelfluth begränzen.

Vergleicht man an einem solchen Nebeltage die Temperatur der meteorologischen Station Solothurn mit der der Station Weissenstein, so ist letztere namhaft höher. Am 9. December 1863 um 1 Uhr Nachmittags war z. B. die Lufttemperatur zu Solothurn + 0,2° C., auf dem Weissenstein aber + 7° C.

Während für grössere Höhendifferenzen die höheren Luftschichten nur ausnahmsweise wärmer sind als die tieferen, steigt in der Regel die Temperatur der Luft, wenn man sich in den untersten Luftschichten vom Boden aus bis zu einer gewissen Höhe erhebt. So fand z. B. Prestel (Jelinek, Zeitschrift für Meteorologie 2. Bd.) für Emden als Resultat langjähriger Beobachtungen folgende Werthe der mittleren Monatstemperatur der Luftschichten, welche sich 1″, 17′ 3″ und 28′ 4″ über dem Boden befinden:

	1″	17′ 3″	28′ 4″
Januar	— 0,27° R.	+ 0,11° R.	— 0,01° R.
Februar	+ 0,49	0,94	+ 0,94
März	2,13	2,71	2,85
April	5,20	5,98	6,21
Mai	8,48	9,47	9,76
Juni	11,52	12,50	12,88
Juli	12,53	13,54	13,85
August	12,52	13,63	13,93
September	10,24	11,20	11,48
October	7,10	7,92	8,03
November	3,15	3,61	3,58
December	1,13	1,46	1,44

In eine Höhe von 17′ bis 28′ ist also die mittlere Temperatur aller Monate höher als die unmittelbar auf den Boden aufliegende Luftschicht.

Pictet fand zu Genf bei stillem, heiterem Wetter, 2 bis 2½ Stunden nach Sonnenaufgang, die Temperatur der freien Luft in einer Höhe von 75 Fuss über dem Boden gleich der in einer Höhe von 5 Fuss. Mit

steigender Sonne stieg dann das untere Thermometer rascher als das obere bis zur heissesten Tageszeit, wo das untere Thermometer ungefähr 2^0 höher stand als das obere. Nachher nahm die Differenz der beiden Thermometer bis kurz vor Sonnenuntergang wieder ab, während in der Nacht das obere Thermometer höhere Temperaturen angab.

Bei ganz bedecktem Himmel, bei dichtem Nebel oder bei heftigem Winde war der Stand der beiden Thermometer der gleiche.

Temperaturverhältnisse der Hochebenen. Ein isolirter 178
hoch in die Luft hineinragender Bergkegel oder ein Bergkamm wird die höheren Regionen der Atmosphäre nicht merklich erwärmen können, weil die Winde in jedem Augenblicke nur kalte Luftmassen an ihm vorbeiführen. Eine Hochebene von bedeutendem Umfange aber kann sich unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen, indem sie von einer weniger dichten und weniger hohen Luftschicht bedeckt ist als die tieferen Gegenden, weil also die Sonnenstrahlen, welche eine Hochebene treffen, durch Absorption in der Luft weniger Wärme verloren haben als die, welche zur Tiefe gelangen. Eine Hochebene kann also auch einen merklichen Einfluss auf die Erwärmung der höheren Luftregionen ausüben, welche über ihr schweben und welche eben wegen der grösseren Ausdehnung des Plateaus längere Zeit mit dem erwärmten Boden in Berührung bleiben.

Unter sonst gleichen Umständen muss es demnach auf Hochebenen wärmer sein als auf isolirten Berggipfeln von gleicher Höhe. In den mexicanischen Gebirgen zwischen dem 18. und 19. Grade nördlicher Breite hört schon in einer Höhe von 13 600 Fuss alle phanerogamische Vegetation auf, die Schneegränze findet sich in einer Höhe von 14 500 Fuss, während in Peru bei gleicher südlicher Breite in grösserer Höhe eine zahlreiche ackerbauende Bevölkerung wohnt; Potosi liegt 13 540 Fuss über dem Meeresspiegel, die Schneegränze liegt hier in einer Höhe von 18 350 Fuss. Dies erklärt sich nur durch die bedeutende Ausdehnung und Höhe der Hochebenen Perus. Das Plateau, in dessen Mitte der Titicaca-See liegt, erhebt sich zwischen zwei Gebirgsketten bis zu einer Höhe von mehr als 12 350 Fuss; bei einer Breite von 60 geographischen Meilen erstreckt es sich vom 16. bis zum 20. Grade südlicher Breite, so dass es eine Oberfläche von 3600 Quadratmeilen hat. Die Plateaus der Andes in der Nähe des Aequators haben höchstens eine Oberfläche von 10 Quadratmeilen, und die Höhe der mexicanischen Hochebene beträgt nur 6000 bis 8000 Fuss.

Ein anderes Beispiel bietet die Hochebene von Tibet und der chinesischen Tartarei. In einer Höhe von 11 700 Fuss wird hier in einer Breite von 32^0 noch Weizen mit Erfolg gebaut, die Cultur der Gerste steigt noch weit höher hinauf, während auf dem südlichen Abhange des Himalaya, in den Thälern des Ganges schon in einer Höhe von 9500 Fuss alle Cultur aufhört; ja selbst unter dem Aequator auf den Plateaus von

Quito und Caxamarca ist die Gränze der Cultur des Weizens 2300 Fuss tiefer als in den Hochebenen von Tibet.

Der Einfluss der Hochebenen auf die Temperatur der oberen Luftregionen ist in ihrer Mitte am bedeutendsten. Zu Santa Fe de Bogota, in der Mitte eines Plateaus, ist die mittlere Jahrestemperatur 14,5° R., während sie in gleicher Höhe zu Facatativia am Rande des Plateaus nur 13,1° R. ist.

Während sich die Hochebenen unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen stark erwärmen, ist natürlich auch aus demselben Grunde der Wärmeverlust, den sie durch die nächtliche Strahlung erleiden, viel bedeutender als in der Tiefe. Auf der Hochebene von Caxamarca in Peru, wo in einer Höhe von 4300 Fuss die mittlere Temperatur 16° R. ist, erfriert doch der Weizen häufig des Nachts. Humboldt sah hier bei Tage im Schatten das Thermometer auf 25° R. steigen, während es vor Sonnenaufgang nur 8° R. gezeigt hatte.

Auf den Hochebenen sind also die täglichen Schwankungen der Temperatur, und, wenn sie weiter vom Aequator entfernt liegen, auch die jährlichen, viel grösser als unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe; so hat z. B. die Hochebene von Tibet sehr heisse Sommer, obgleich die mittlere Jahrestemperatur ziemlich niedrig ist (die mittlere Temperatur des Monats October fand Turner 5,7° R., und dies ist so ziemlich genau auch die mittlere Jahrestemperatur), weil dagegen der Winter um so kälter ist. Auf der Nordseite des Himalaya liegen die Culturgränzen und die Schneegränze nicht etwa deshalb höher als auf dem südlichen Abhange, weil die mittlere Jahreswärme höher, sondern weil bei der ungleichmässigeren Wärmevertheilung der Sommer auf der nördlichen Abdachung heisser ist, und dann, auch weil auf dem Nordabhang viel weniger Schnee fällt als auf der Südseite.

179 **Die Schneegränze.** Die Temperaturabnahme in den höher über dem Meeresspiegel gelegenen Luftschichten wird dadurch besonders auffallend nachgewiesen, dass auf hohen Gebirgen der Schnee selbst in den Sommermonaten nicht wegschmilzt, dass diese Gipfel Jahr aus Jahr ein mit Schnee bedeckt bleiben. Im Vorübergehen ist der Gränze des ewigen Schnees in den Andes von Südamerika bereits Erwähnung geschehen, wir wollen jedoch diesen Gegenstand noch einer ausführlicheren Betrachtung unterwerfen.

Unter der Gränze des ewigen Schnees oder kurz der Schneegränze versteht man diejenige Höhe, über welche hinaus der Schnee auf den Abhängen der Gebirge, welche nicht allzu steil sind, so dass er überhaupt auf denselben liegen bleiben kann, selbst in der heissesten Jahreszeit nicht vollständig wegschmilzt.

Solche Jahr aus Jahr ein mit Schnee bedeckte Abhänge werden Schneefelder genannt.

Im Allgemeinen wird natürlich die Schneegränze um so tiefer gegen

den Meeresspiegel herunter rücken, je mehr man sich vom Aequator aus den Polen nähert; doch ist ihre Höhe keineswegs allein durch die geographische Breite eines Ortes bestimmt, sondern sie wird durch mancherlei locale Verhältnisse auf das Mannigfaltigste modificirt.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Höhe der Schneegränze in verschiedenen Gegenden der Erde.

Gebirge.	Breite.	Untere Gränze des ewigen Schnees.	Mittlere Temperatur im Niveau des Meeres in gleicher Breite	
			d. ganzen Jahres.	des Sommers.
Norwegen, Küste	71¼° N.	2220 par. F.	0,2° R.	5,1° R.
Norwegen, im Inneren . . .	70 — 70¼°	3300 „	2,4	8,9
Island	65°	2890 „	3,3	9,6
Norwegen, im Inneren . . .	60 — 62°	4800 „	3,3	13,0
Aldankette (Sibirien)	60° 55′	4190 „		
Nördl. Ural	59° 40′	4490 „	0,9	13,4
Kamtschatka	56° 40′	4930 „	1,6	10,1
Altai	49¼ — 51°	6590 „	5,8	13,4
Alpen	45¾ — 46°	8350 „	8,9	14,7
Kaukasus (Elbruz)	43° 21′	10380 „	11,0	17,3
Pyrenäen	42½ — 43°	8400 „	12,5	19,0
Aetna	37½°	8900 „	15,0	20,1
Nördl. Abhang } des Himalaya	{ 30¾ — 31°	15600 „		
Südl. Abhang } des Himalaya	{	12200 „	16,2	20,6
Mexico	19 — 19¼°	13900 „	20	22,2
Sierra Nevada de Merida . .	8° 5′	14000 „	22	22,6
Vulcan von Tolima	4° 46′	14380 „		
Quito	0° 0′	15320 „	22,5	22,8
Oestl. } Cordilleras v. Chili .	14½ — 18° S.	{ 15000 „		
Westl. } Cordilleras v. Chili .		{ 16500 „		
Chili, Andes der Küste . . .	41 — 44°	5630 „		
Magellanstrasse	53 — 54°	3480 „	4,3	8

Wie ungleich die Höhe der Schneegränze auf den Gebirgen verschiedener Gegenden ist, wird durch Fig. 263 (a. f. S.) anschaulich gemacht, in welcher die vorzüglichsten Höhen von Südamerika, Asien und Europa in Gruppen zusammengestellt sind. Die Lage der Schneegränze ist durch die hier beginnende hellere Schraffirung zu erkennen.

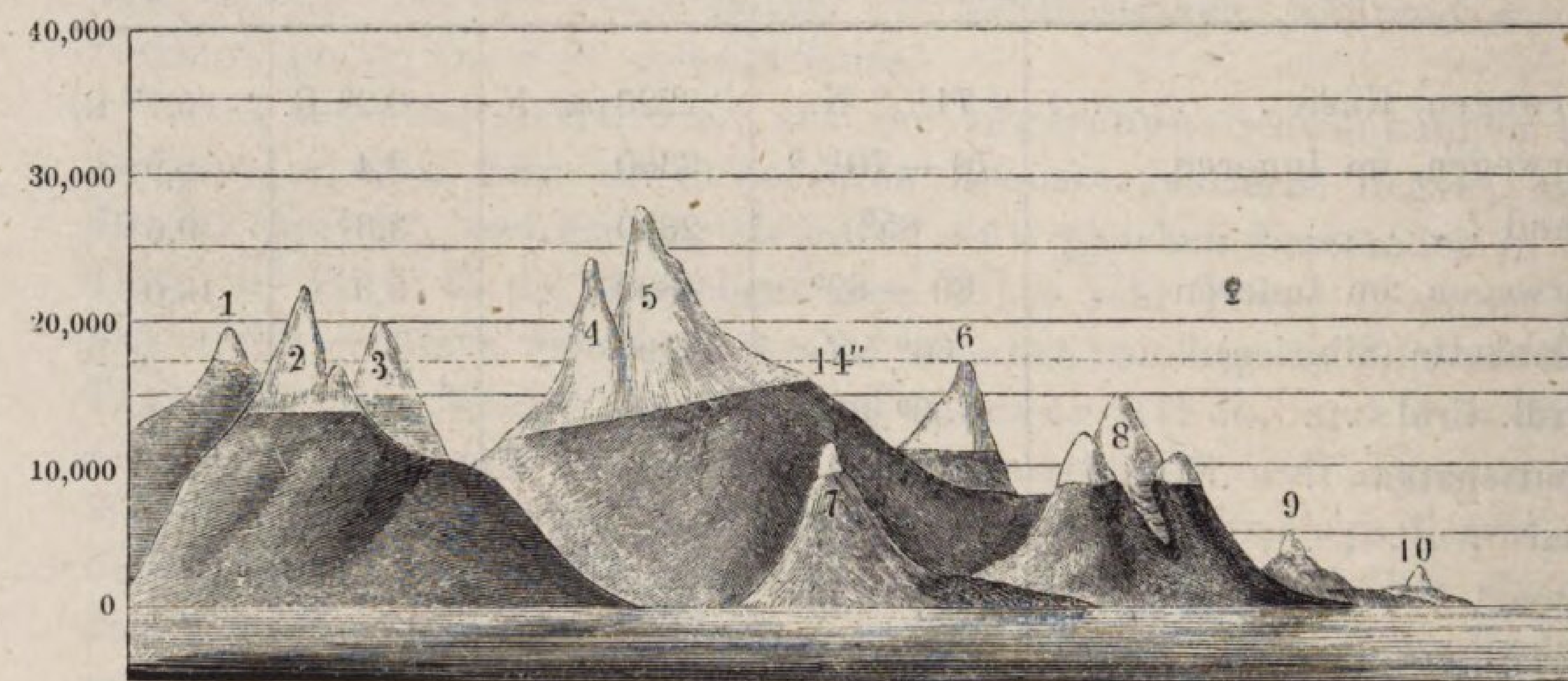
Die den durchlaufenden horizontalen Linien entsprechenden Höhen (in pariser Fussen ausgedrückt) sind am linken Rande der Figur beigesetzt.

Die erste Gruppe links stellt die südamerikanischen Gebirge dar und zwar ist Nr. 1 der Illimani, Nr. 2 der Aconcagua (ungefähr 33° südl. Br.), Nr. 3 der Chimborazzo.

Dem Himalayagebirge gehören die Gipfel Nr. 4 und 5 an, von denen der erstere den Schamalari, der letztere den Dhawalagiri darstellt. Die linke Seite dieser Gruppe entspricht dem südlichen, die rechte Seite dem nördlichen Abhange des Gebirges, und man sieht hier deutlich, wie die Schneegränze auf dem nördlichen Abhange höher liegt als auf dem südlichen.

Nr. 6 stellt den Elbruz, den höchsten Gipfel des Kaukasus, dar.

Fig. 263.



Die übrigen Gipfel in unserer Figur entsprechen europäischen Gebirgen, und zwar Nr. 7 den Pyrenäen, Nr. 8 den Alpen, Nr. 9 dem Sulitelma in Norwegen (67° nördl. Breite), Nr. 10 den Bergen der Insel Magerö, deren nördlichste Spitze das Nordcap bildet.

Man glaubte früher, dass sich die Gränze des ewigen Schnees stets in solchen Regionen finden müsste, wo die mittlere Jahrestemperatur 0° C. ist. Wenn es so wäre, so müssten alle Länder, deren mittlere Jahrestemperatur unter Null ist, beständig mit Schnee bedeckt sein, während wir doch z. B. wissen, dass selbst zu Jakutzk, bei einer mittleren Jahrestemperatur von — 8,25° C. noch Cerealien gebaut werden.

Die Gränze, bis zu welcher selbst im Sommer der Schnee nicht wegschmilzt, kann also nicht ohne Weiteres aus der mittleren Jahrestemperatur eines Ortes abgeleitet werden, sie hängt nicht sowohl von der mittleren Jahreswärme, als vielmehr von der Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten ab.

In Jakutzk ist die mittlere Temperatur des heissesten Monats 14,2° C. Bei einer solchen Wärme muss der Schnee wegschmelzen, der Winter mag noch so kalt gewesen sein. Wenn zu Jakutzk bei unveränderter mittlerer Jahrestemperatur von — 8, 25° C. die Wärme so vertheilt wäre,

dass sie nur zwischen 0° C. und — 16° C. schwankte, so würde der Schnee ewig liegen bleiben.

Die mittlere Temperatur der Schneegränze kann also an Orten, welche ein sehr excessives Klima haben, sehr niedrig sein; in solchen Gegenden aber, für welche die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer ist, wird die mittlere Jahrestemperatur an der Gränze des ewigen Schnees höher sein. Da nun zwischen den Wendekreisen die Schwankungen der Temperatur weit geringer sind als in den gemässigten Zonen und in den Polargegenden, so wird auch die mittlere Jahrestemperatur der Luft an der Schneegränze in den Tropen weit höher sein als in höheren Breiten.

Denken wir uns einen Ort, an welchem die Temperatur der Luft das ganze Jahr hindurch 0° C. betrüge, so könnte der Schnee, welcher hier fällt, unmöglich wegschmelzen, und man sieht leicht ein, dass, wenn die Temperatur eines Ortes um nur sehr wenige Grade schwankt, die mittlere Temperatur über 0° C. sein muss, damit der gefallene Schnee vollkommen wegschmelzen kann, wenn man bedenkt, wie viel Wärme beim Schmelzen des Schnees gebunden wird. Es ist daher leicht zu begreifen, dass in den Tropen die mittlere Lufttemperatur an der Schneegränze über Null ist.

In den Tropen ist die mittlere Lufttemperatur der Schneegränze + 1,2° C., während sie in Norwegen vom 60. bis 70. Breitengrade — 5° C. ist; in Sibirien ist sie natürlich noch niedriger.

Da die Schneegränze vorzugsweise von der Temperatur des heissesten Monats abhängt, so muss die Höhe der Schneegränze in verschiedenen Gegenden, für welche die mittlere Jahreswärme in der Ebene gleich ist, verschieden sein, wenn die Vertheilung der Wärme an beiden Orten ungleich ist, wenn die eine Gegend ein Küstenklima, die andere aber ein Continentalklima hat. Bei gleicher mittlerer Jahreswärme in der Ebene liegt die Schneegränze für ein Küstenklima tiefer als für ein Continentalklima.

So hat z. B. Island und das Innere von Norwegen vom 60. bis 62. Grade fast ganz gleiche mittlere Jahreswärme, in Island ist aber die Sommerwärme geringer, und deshalb liegt auch die Schneegränze bedeutend (2000 Fuss) tiefer.

Je mehr Schnee im Winter fällt, desto heisser muss es im Sommer werden, um ihn ganz wegzuschmelzen; da nun an den Küsten mehr Schnee fällt als im Inneren der grossen Continente, wo die Luft weit trockner ist, so ist darin ein neuer Grund zu suchen, warum an den Küsten die Schneegränze verhältnissmässig tiefer liegt als im Inneren des Landes.

Die Pyrenäen und der Kaukasus liegen ungefähr in gleicher Breite; die mittlere Jahrestemperatur sowohl als auch die mittlere Sommerwärme ist am Fusse der Pyrenäen höher als am Fusse des Kaukasus, und doch ist die Schneegränze am Kaukasus um 2000 Fuss höher als in den Pyrenäen, weil dort weit weniger Schnee fällt als hier.

Sehr auffallend erscheint es auch, dass die Schneegränze auf der

nördlichen Abdachung des Himalaya um mehr als 3000 Fuss höher liegt als am südlichen Abhange; es wird dies aber begreiflich, wenn man bedenkt, dass gerade die über dem indischen Ocean mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, an den südlichen Abhang des riesenhaften Gebirges anschlagend, dort ungeheure Massen von Regen in den niederen und von Schnee in den höheren Regionen absetzt, während aus der trockenen Luft auf der nördlichen Abdachung ungleich weniger Schnee herabfällt; ausserdem aber schliesst sich an die nördliche Abdachung die bedeutende Hochebene von Tibet an, während sich das Gebirge auf der Südseite rasch bis zum Spiegel des Meeres herabsenkt.

Das Tafelland von Tibet besteht eigentlich aus mehreren durch Gebirgsketten getrennten Hochebenen von ausserordentlicher Trockenheit, auf welchen die Temperaturschwankungen ungemein gross sind; da diese felsigen und sandigen Hochebenen sich im Sommer durch die Absorption der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen, tragen sie viel zur Erhöhung der Schneegränze bei.

Ein ähnlicher Unterschied zeigt sich zwischen den östlichen und westlichen Cordilleras von Chili. Nach den Messungen von Pentland ist die Schneegränze vom 14. bis zum 18. Breitengrade noch bedeutend höher als unter dem Aequator selbst, was offenbar nur von dem Einflusse der Hochebenen herrühren kann.

Die Gränze des Schnees steigt und sinkt mit den verschiedenen Jahreszeiten; diese Schwankung ist in der heissen Zone Amerikas sehr unbedeutend, sie beträgt, nach Humboldt, nur 250 bis 350 Fuss; man darf jedoch die Gränze des Schnees nicht mit den Gränzen verwechseln, bis zu welchen noch von Zeit zu Zeit Schnee fällt und auch einige Zeit liegen bleibt. In den mexicanischen Gebirgen liegen die Gränzen, zwischen welchen die Schneegränze auf- und niedersteigt, schon bedeutend weiter, nämlich um 2000 Fuss, auseinander; dieser Unterschied ist leicht zu begreifen, wenn man bedenkt, dass die mittlere Temperatur der drei wärmsten Monate in Mexico um 5° C., in Quito aber nur 1° bis 2° C. mehr beträgt als die mittlere Temperatur der drei kältesten Monate.

180 **Die Gletscher.** Da der auf den Schneefeldern fallende Schnee nur theilweise wegschmelzen kann, da also jeder frisch fallende Schnee noch alte Schneemassen vorfindet, so muss hier im Laufe der Zeit eine ungeheure Anhäufung von Schnee und Eis stattfinden, und zwar wird dies vorzugsweise in den über der Schneegränze liegenden kesselförmigen Hochthälern der Fall sein, in welchen der Wind den Schnee zusammenweht und in welche er von den steileren sie umgebenden und schützenden Bergkämmen und Gipfeln als Lawinen herabstürzt.

Da nun aber eine solche Anhäufung von Schnee und Eis nicht ins Unendliche fortgehen kann, so muss irgendwie eine Ausgleichung stattfinden, und diese Ausgleichung wird durch die Gletscher vermittelt.

Wenn nämlich die Anhäufung des Schnees, welcher, wie wir alsbald

sehen werden, eine allmälige Umwandlung in körniges Eis erfährt, bis zu einer gewissen Gränze fortgeschritten ist, so kann sich die Masse auf der geneigten Fläche, auf welcher sie liegt, nicht mehr erhalten, sie gleitet theils vermöge ihres eigenen Gewichtes, theils in Folge des Druckes, den höher gelegene Massen auf sie ausüben, auf der schiefen Ebene herab, einen sehr langsam fliessenden Eisstrom bildend, der sich bis in wärmere Umgebungen herabsenkt, wo dann die Schmelzung stattfindet, zu welcher die Wärme in der Höhe nicht ausreichte.

Ein solcher aus der Region des ewigen Schnees langsam thalabwärts sich bewegender Eisstrom wird nun ein Gletscher (glacier), in Tyrol ein Ferner genannt.

Der auf den Schneefeldern gefallene Schnee erleidet durch abwechselndes theilweises Aufthauen und Wiedergefrieren allmälig eine gänzliche Umänderung seines Aggregatzustandes. Das durch Schmelzen gebildete Wasser dringt in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Schneekryställchen ein und füllt sie abwechselnd mit Luftblasen aus; der nächste Frost verwandelt diesen mit Wasser getränkten Schnee in eine Masse körnigen Eises, welche mit dem Namen Firn bezeichnet wird.

Durch eine mehrmalige, in Folge der Abwechselung von Sommer und Winter in grossem Maassstabe stattfindende Wiederholung des eben angedeuteten Processes wird die Schnee- und Firnmasse allmälig mehr und mehr in Eis verwandelt, welches, sich in die Thäler hinabsenkend, die Gletscher bildet. Jeder Winter häuft neue Schneemassen als Material zu fernerer Gletscherbildung in den Hochthälern an.

Das Gletschereis bildet keine compacte feste Masse, nicht ein continuirliches Ganzes, wie das Eis auf der Oberfläche der Seen und Flüsse; es besteht vielmehr aus einem Conglomerat mehr oder minder grosser unregelmässig gestalteter Eiskörner, deren jedes seinen Nachbar in die Masse einkeilen hilft. Die theils mit Wasser, theils mit Luft gefüllten Fugen, welche die aneinanderstossenden Flächen benachbarter Gletscherkörner trennen, kann man sehr schön sichtbar machen, wenn man gefärbten Weingeist auf die eben gemachte Gränzfläche eines Stückes Gletschereis giesst. Durch den in die Fugen eindringenden Weingeist erscheinen die Gletscherkörner gleichsam von einem gefärbten Netze eingeschlossen. Am unteren Ende des Aletschgletschers fand Hugi die Gletscherkörner über 2 Zoll gross. Eine Stunde weiter aufwärts, am Mörlisee, waren sie nur stark nussgross und noch zwei Stunden weiter waren sie noch viel kleiner und gingen alsbald in Firn über.

Die einzelnen Gletscherkörner scheinen bei ausserordentlicher Klarheit und Durchsichtigkeit vollkommen farblos zu sein; in grösseren Massen aber zeigt das Gletschereis die herrliche blaue Färbung, welche man in Gletscherspalten und Gletscherhöhlen zu bewundern Gelegenheit hat. Es ist dies offenbar das Blau des reinen Wassers, von welchem in §. 141 die Rede war.

Bei seinem langsamen Herabgleiten verhält sich das Gletschereis

nicht etwa wie ein zusammenhängender fester Körper, sondern mehr wie eine zähe dickflüssige Masse, denn die Geschwindigkeit der Gletscherbewegung ist keineswegs für den ganzen Querschnitt dieselbe; in der Mitte des Gletscherstromes ist die Bewegung weit rascher thalabwärts als an den Seitenrändern, und dieser Umstand bewirkt im Verein mit mehreren anderen, dass sich im Gletschereis zahlreiche Klüfte und Spalten bilden, wie dies Fig. 264 zeigt, welche einen Theil des Zermattgletschers darstellt.

Fig. 264.

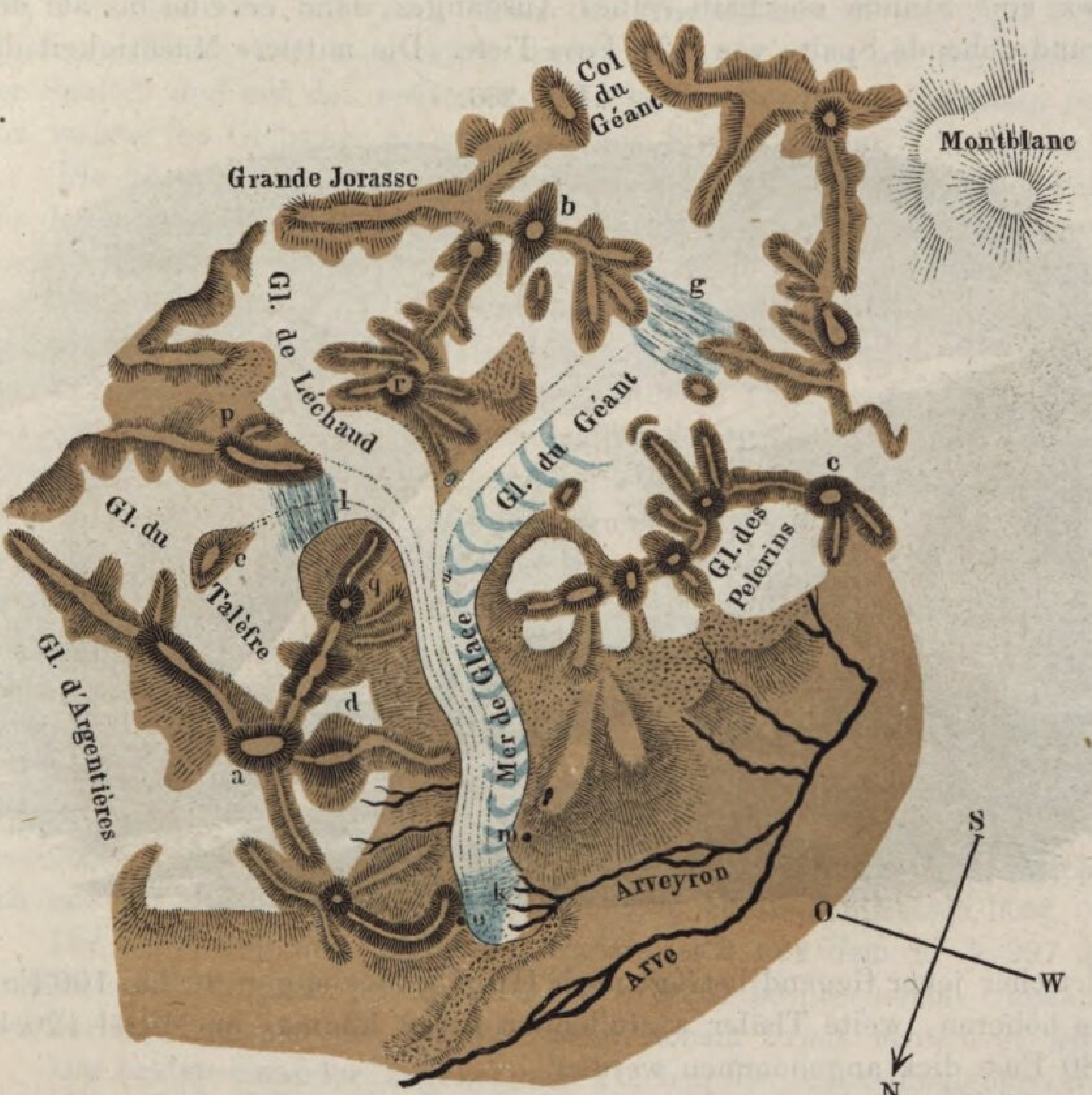


Das nach Schlagintweit's Karte des Monte Rosa copirte Kärtchen des Lysgletschers, Fig. 278, S. 516, ist sehr geeignet, einige der die Gletscherbildung bedingenden Umstände anschaulich zu machen. Das in der Tiefe ganz enge Lysthal breitet sich in der Höhe zu einem weiten Thalkessel aus, welcher auf der Nordseite durch den Lyskamm, im Osten durch den Kamm der Vincentpyramide und im Westen durch einen diesem parallel laufenden, fast eben so hohen Gebirgskamm eingeschlossen ist. Die ungeheure Schnee- und Firnmasse, welche sich in diesem hoch über der Schneegränze liegenden Thalkessel anhäuft, ist es nun, welche den Lysgletscher ernährt, von den Firnfeldern aus wie ein Strom langsam herabfliesst und sich in das unten enger werdende Lysthal keilförmig

einzwängt. Das untere Ende dieses Gletschers findet sich in einer Höhe von 6200 Fuss, die mittlere Höhe der Firnlinie, d. h. der Gegend, in welcher die Firnmasse in Gletschereis übergeht, beträgt ungefähr 9230 Fuss. Die mittlere Neigung der Firnmasse ist 13° 20′, die mittlere Neigung des Gletschers ist 18°.

Betrachten wir ferner das Mer de glace, das Eismeer, im Chamounithale, welches an Masse alle Gletscher der Schweiz übertrifft, obgleich es an Länge vom Aletschgletscher übertroffen wird. Es sammelt sich,

Fig. 265.



wie man aus dem nach Forbes copirten Kärtchen, Fig. 265, ersieht, von den Schneefeldern der unmittelbar nördlich vom Montblanc gelegenen Berge, von denen mehrere, wie grande Jorasse, die Aiguille verte (*a*, Fig. 265), die Aiguille du géant (*b*), Aiguille du midi (*c*) und die Aiguille du Dru (*d*) nur um 2000 bis 3000 Fuss von dem Montblanc überragt werden. Die Schneefelder, welche an den Abhängen und in den Thalkesseln zwischen diesen Bergen liegen, sammeln sich in drei Hauptströme, den glacier du géant, glacier de Léchaud und glacier du Talèfre, welche schliesslich zusammenfliessend das Eismeer bilden, welches

sich als ein 2600 bis 3000 Fuss breiter Eisstrom bis in das Thal von Chamouni hinauszieht, wo aus seinem unteren Ende ein starker Bach, der Arveyron, hervorbricht, der sich in die Arve ergiesst. Der unterste Absturz des Eismeeres, welcher vom Thale von Chamouni aus sichtbar ist und eine gewaltige Eiscascade bildet, wird gewöhnlich glacier des Bois genannt (Helmholtz, populäre wissenschaftliche Vorträge, Braunschweig 1865).

Hugi schätzt die Mächtigkeit der Gletscher des Berner Oberlandes an ihrem Ausgange zu 30 bis 80 Fuss. Auf dem Unteraargletscher, etwa eine Stunde oberhalb seines Ausganges, fand er eine bis auf den Grund gehende Spalte von 120 Fuss Tiefe. Die mittlere Mächtigkeit der

Fig. 266.



Gletscher jener Gegend beträgt nach Hugi's Messungen 80 bis 100 Fuss, die höheren, weite Thäler ausfüllenden Firne können im Mittel 120 bis 180 Fuss dick angenommen werden.

Die Mächtigkeit des Mer de glace und seiner Zuflüsse ist jedenfalls viel bedeutender. Am Ende einer verticalen Felswand des Tacul schiebt sich der Rand des glacier du géant mit einer senkrechten Wand von 140 Fuss Höhe hervor. Etwas unterhalb der Vereinigungsstelle der drei Gletscher sondirte Tyndall in einem moulin, d. h. in einer Höhlung, durch welche die oberflächlichen Gletscherwasser in die Tiefe strömen, bis zu 160 Fuss Tiefe, und die Führer behaupteten, in einer ähnlichen Oeffnung einmal bis zu 350 Fuss sondirt zu haben. Die Bodengestaltung lässt aber eine noch viel bedeutendere Mächtigkeit des Eises an diesen Stellen vermuthen.

Von der Mächtigkeit der Eismassen der grösseren Gletscher giebt auch die Ansicht, Fig. 266, vom unteren Ende des gewaltigen Gornergletschers bei Zermatt ein anschauliches Bild.

Regelation. Auf den ersten Anblick scheint es fast unglaublich, 181
dass das sonst so spröde Eis in den Gletschern wie eine dickflüssige Substanz, etwa wie Theer oder dicker Thonbrei sich bewegen soll, dass es allen Krümmungen der Thäler folgt, in welchen sich der Gletscher herabsenkt, und sich durch etwaige Verengungen hindurchzwängen lässt, wie eine plastische Substanz. Dass das Gletschereis in der That keine plastische Masse, dass es wirklich spröde ist, geht schon aus der Bildung der Spalten und aus der später noch zu besprechenden Zerklüftung hervor, welche die Gletscher an verschiedenen Stellen zeigen.

Die Lösung dieser scheinbaren Widersprüche ergiebt sich theilweise aus dem Umstand, dass das Gletschereis eine aus einzelnen Eiskörnern zusammengesetzte Masse ist, alsdann aber spielt die unter dem Namen der Regelation bekannte Eigenthümlichkeit des Eises eine wesentliche Rolle in der Erklärung der Gletscherphänomene.

Wenn man zwei etwas geebnete Eisstücke, welche schon im Schmelzen begriffen sind, gegen einander presst, so werden sie alsbald ein zusammenhängendes Eisstück bilden, und zwar werden sie um so stärker zusammenhaften, je stärker sie zusammengedrückt wurden. Die Erscheinung findet selbst in einer über 0^0 erwärmten Umgebung Statt und schon der Druck der Hände genügt, um die Erscheinung zu zeigen.

Die beiden Eisstücke sind in Folge des Druckes offenbar zusammengefroren, weshalb auch Faraday, welcher das eben besprochene Phänomen entdeckte, es mit dem Namen der Regelation bezeichnete.

In Folge der Regelation wird der schon bis zum Schmelzpunkt erwärmte Schnee durch den Druck der Hände zu einem festen Schneeball vereinigt. Sehr kalter Schnee bildet ein trockenes loses Pulver, welches sich mit der Hand nicht zu einem festen Ball zusammenpressen lässt.

Die Erklärung der Regelation ergiebt sich aus dem in §. 297 des Lehrbuchs der Physik (7. Aufl. II. Bd. S. 926) besprochenen Umstand, dass der Gefrierpunkt des Wassers unter hohem Druck erniedrigt wird.

Die beiden einander zugekehrten Flächen der zusammengepressten Eisstücke berühren sich, wenn sie auch noch so gut geebnet waren, doch nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach, sondern nur in einzelnen Punkten. An den sich berührenden Stellen wird nun in Folge des Druckes Eis zur Schmelzung gebracht, das gebildete Wasser wird aber etwas kälter sein als 0^0 und deshalb, in die leeren Zwischenräume eindringend, in denen es dem Druck entzogen ist, alsbald wieder gefrieren und so das Zusammenhaften der beiden Eisstücke bewirken.

Die Regelation spielt nun aber, wie sich leicht einsehen lässt, auch bei dem Uebergang des Schnees in Gletschereis eine wesentliche Rolle. Die durch abwechselndes Schmelzen und Gefrieren des Schnees gebildeten

Firnkörner haben den Druck der auf ihnen lastenden Schnee- und Firnmassen auszuhalten, wodurch ein festeres Aneinanderhaften der einzelnen Firnkörner bedingt und nach und nach der Uebergang der feineren Firnkörner in grössere, fester zusammenhängende Gletscherkörner bewirkt wird.

Die Verwandlung von Schnee in Eis, welche sich in den Gletschern unter verhältnissmässig geringerem Druck in längeren Zeiträumen vollzieht, lässt sich mit einem von Helmholtz erdachten Apparate unter Anwendung stärkeren Druckes in kurzer Zeit ausführen. An einem hohlen, oben und unten offenen Cylinder *AA* von Gusseisen, von welchem Fig. 267 eine äussere Ansicht, Fig. 268 aber den Durchschnitt zeigt,

Fig. 267.

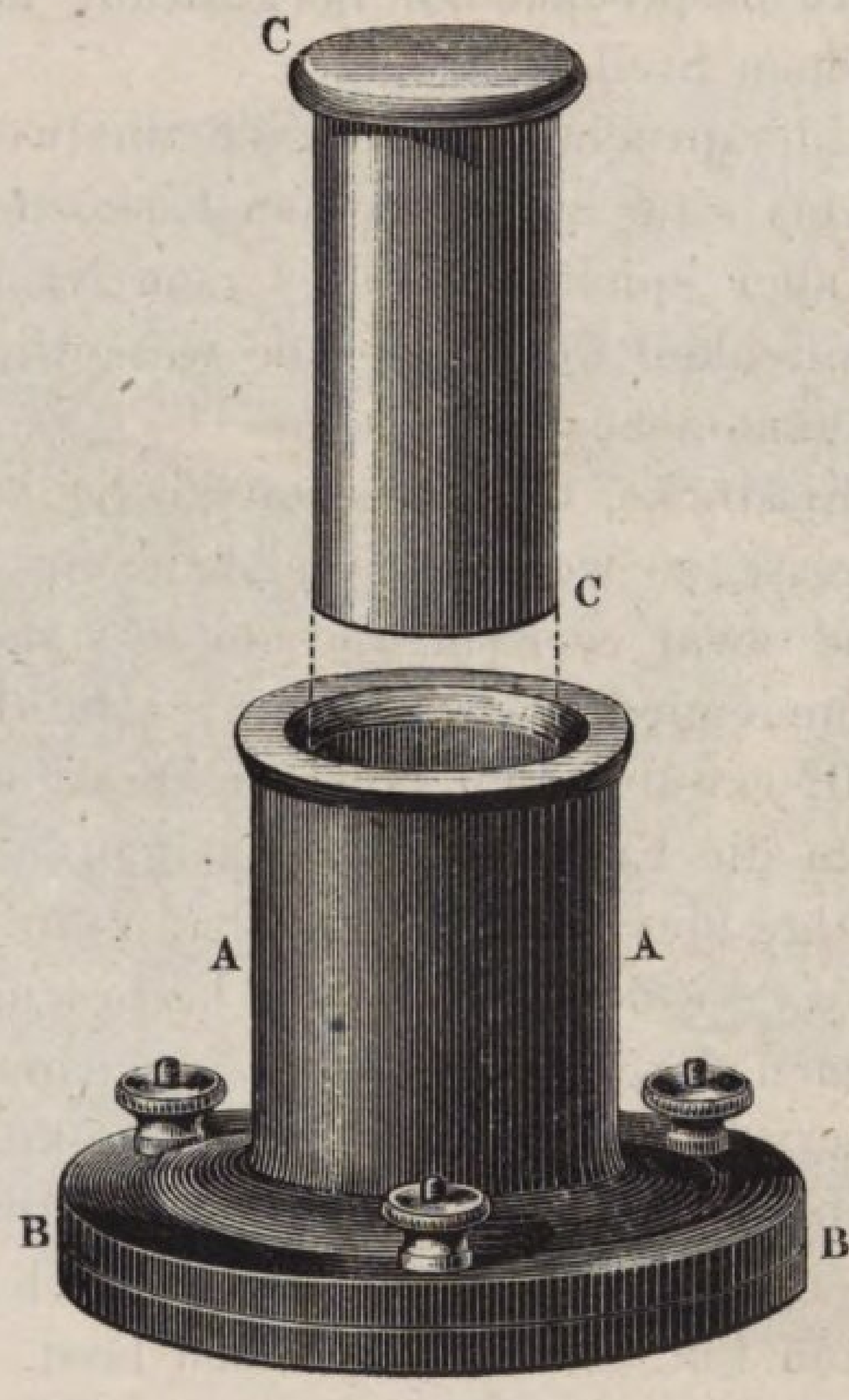
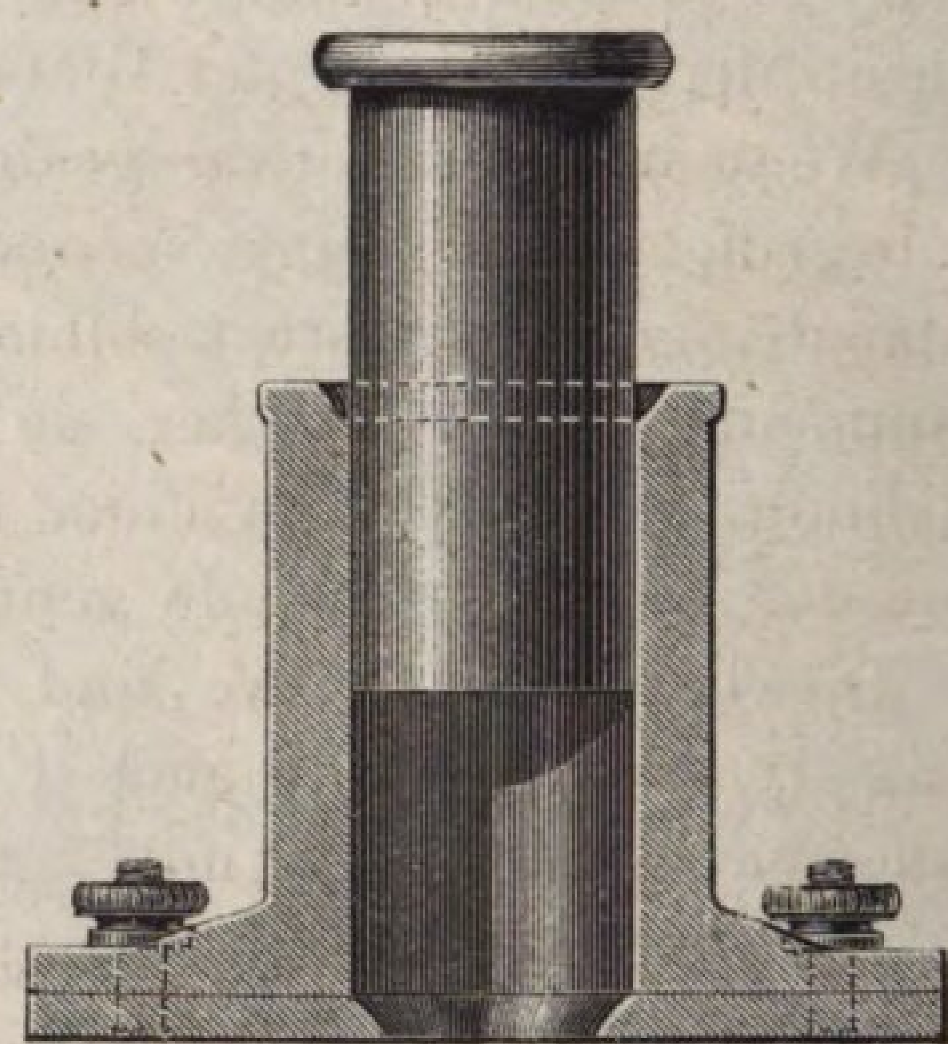


Fig. 268.



endet unten mit einem breiteren eisernen Ring, an welchen von unten her eine eiserne Platte angeschraubt werden kann, welche entweder in ihrer Mitte conisch durchbohrt ist, wie Fig. 268 zeigt, oder welche ganz massiv ist, so dass sie den hohlen Cylinder *A* von unten her vollständig schliesst. In die Höhlung des Cylinders *A* kann von oben her ein genau passender Stempel *C* eingeschoben werden, wie man in beiden Figuren sieht.

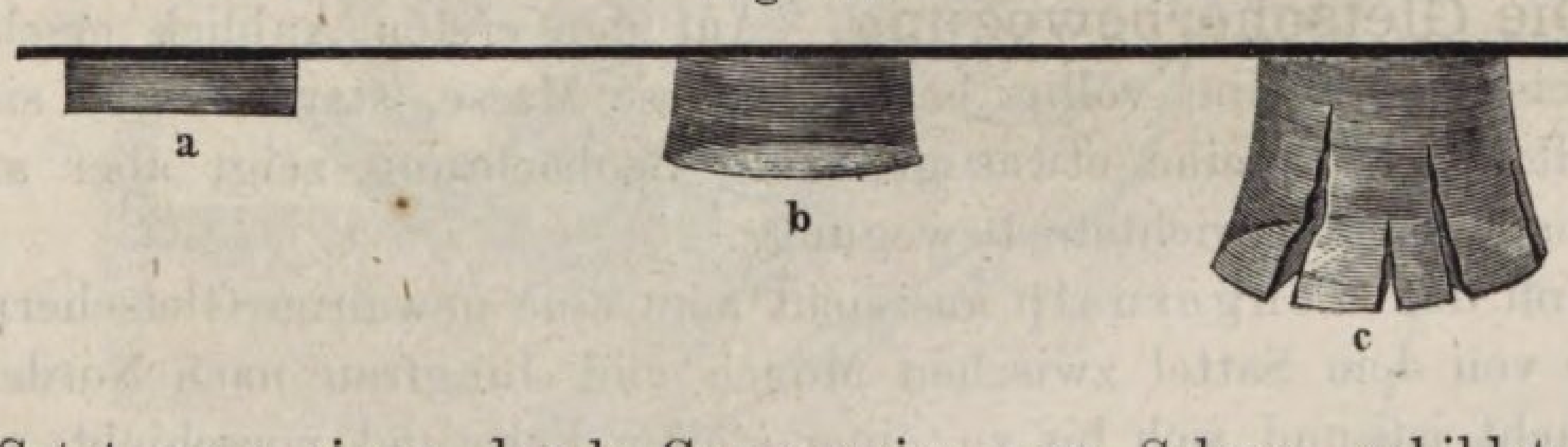
Zunächst werde nun eine massive Platte *B* an den hohlen Cylinder angeschraubt, die Höhlung des auf 0^0 erkalteten Cylinders *A* mit Schnee vollgestopft, der cylindrische Stempel *C* aufgesetzt und endlich mittelst einer hydraulischen Presse hineingetrieben. Der lockere Schnee schwindet nun unter einem Druck, welcher leicht bis auf 50 Atmosphären gesteigert werden kann, auf ein kleines Volumen zusammen. Man lässt nun mit dem Drucke nach, nimmt den Stempel heraus, füllt den leeren

Theil des Cylinders abermals mit Schnee aus, presst wieder und fährt so fort, bis die ganze Höhlung des Cylinders A mit einer Masse angefüllt ist, welche dem Druck nicht mehr nachgiebt. — Wenn man nun die Bodenplatte BB abschraubt und den gepressten Schnee herausnimmt, so sieht man, dass er zu einem ganz harten, scharfkantigen und trübe durchscheinenden Eiscylinder geworden ist.

Während die in A enthaltene Schnee- und Eismasse durch kräftiges Eintreiben des Stempels C comprimirt wird, sieht man aus der feinen Fuge zwischen der Bodenplatte BB und der am Cylinder A unten angebrachten Scheibe äusserst zarte Eisblättchen nach allen Seiten in horizontaler Richtung herauswachsen. Es rührt dies von dem durch Schmelzung des gepressten Eises gebildeten, aber unter 0^0 erkalteten Wasser her, welches sogleich wieder erstarrt, sobald es dem starken Druck entwichen ist, welchen es im Cylinder auszuhalten hatte.

Schraubt man an die Stelle der massiven Eisenplatte BB, welche zu dem eben beschriebenen Versuche diente, eine Platte mit conisch sich verengender Oeffnung, wie man in Fig. 268 sieht, unter dem hohlen Cylinder AA an, setzt man dann den durch Compression des Schnees erzeugten Eiscylinder in die Höhlung von AA ein und treibt man endlich den Stempel wieder mittelst der hydraulischen Presse an, so sieht man anfangs einen soliden Eiscylinder von dem Durchmesser der unteren Oeffnung austreten. Da aber in der Mitte der Oeffnung das Eis schneller nachdrängt als an den Rändern, so wölbt sich die freie Endfläche des hervorgedrängten Eiscylinders, sein unteres Ende verdickt sich, so dass es nicht mehr durch die Oeffnung zurückgezogen werden kann, und spaltet sich endlich auf. Fig. 269 a, b und c zeigt die Reihe von Formen, die in dieser Weise zu Stande kommen.

Fig. 269.



Setzt man einen durch Compression von Schnee gebildeten Eiscylinder, Fig. 270, zwischen zwei Holzplatten in die hydraulische Presse ein, so verändert beim Antreiben derselben der Eiscylinder unter fortwährendem Knarren und Knacken allmälig seine Form, er wird immer niedriger, dafür aber dicker und erst, wenn derselbe schon in eine ziemlich platte Kreisscheibe, Fig. 271, verwandelt worden ist, fängt er an, am Rande einzureissen und Spalten zu bilden, gleichsam Gletscherspalten im Kleinen.

Ganz anders verhält sich ein Eiscylinder, den man aus einem der gefrorenen Oberfläche eines Flusses oder Sees entnommenen Stücke Eis so herausgeschnitten hat, dass die beiden natürlichen Oberflächen seine Endflächen bilden. Durch den Druck der Presse wird das Eisstück zer-

brochen, jeder sich bildende Riss geht durch seine ganze Dicke hindurch und der ganze Block zerfällt in einen Haufen von Trümmern, welche bei fernerem Antreiben der Presse theilweise allerdings wieder durch Regelation vereinigt werden.

Fig. 270.

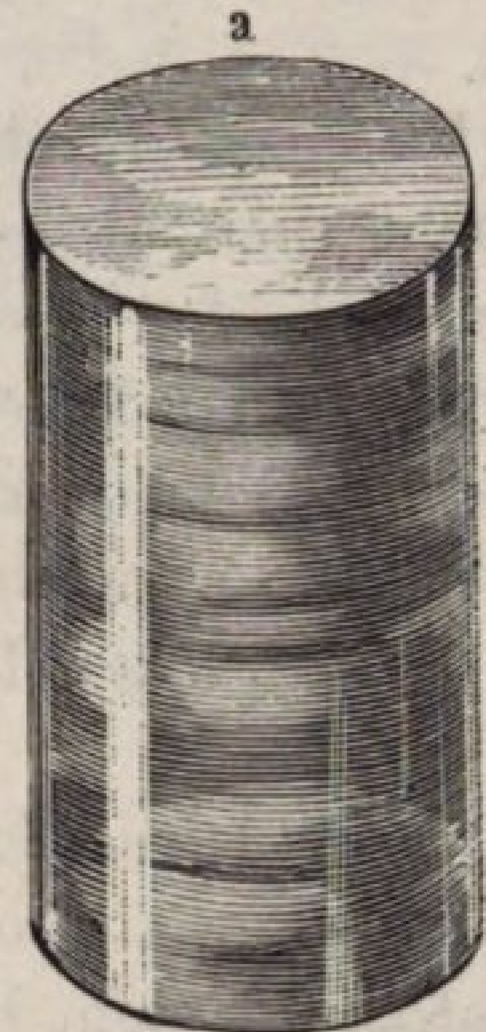
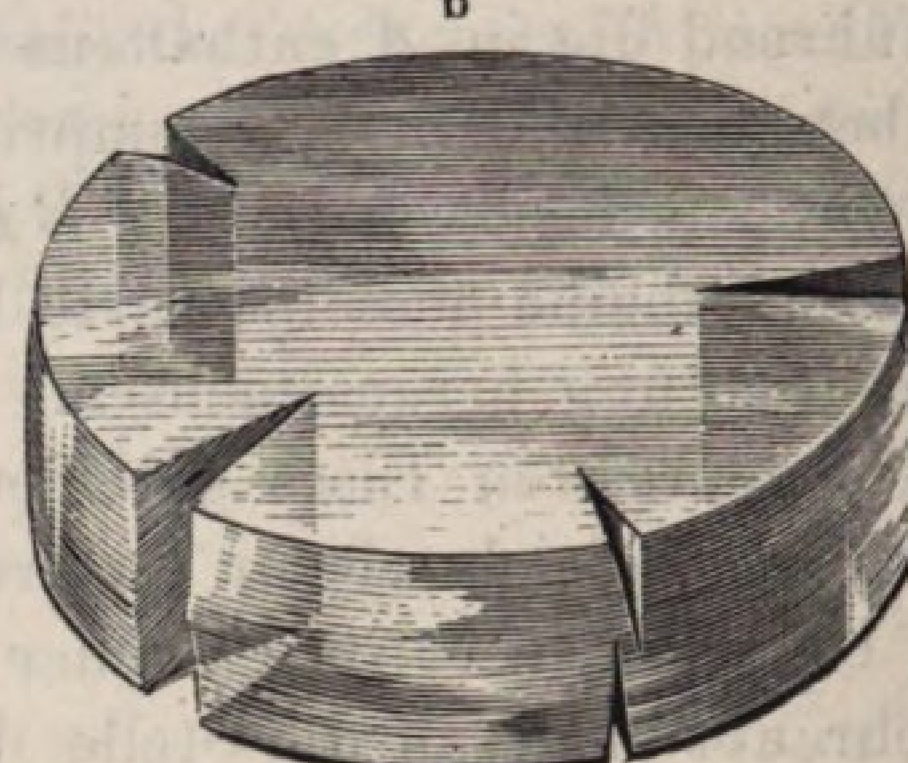


Fig. 271.



In dem letzteren Falle haben wir es mit einem krystallisirten Körper, im ersteren aber mit einer Eismasse von körniger Structur zu thun, deren einzelne Körnchen, durch feine Zwischenräume getrennt, sich leicht gegenseitig verschieben lassen, um sich dann in veränderter gegenseitiger Stellung wieder durch Druck vereinigen zu lassen. Da auch das Gletschereis aus einzelnen, wenn auch grösseren Körnern besteht, so erklärt sich aus diesem Umstand, dass es sich unter einem starken Druck wie ein plastischer Körper verhält und sich wie ein zähflüssiger Körper bewegen kann, während es sich gegen Zug und Spannung im höchsten Grade spröde zeigt.

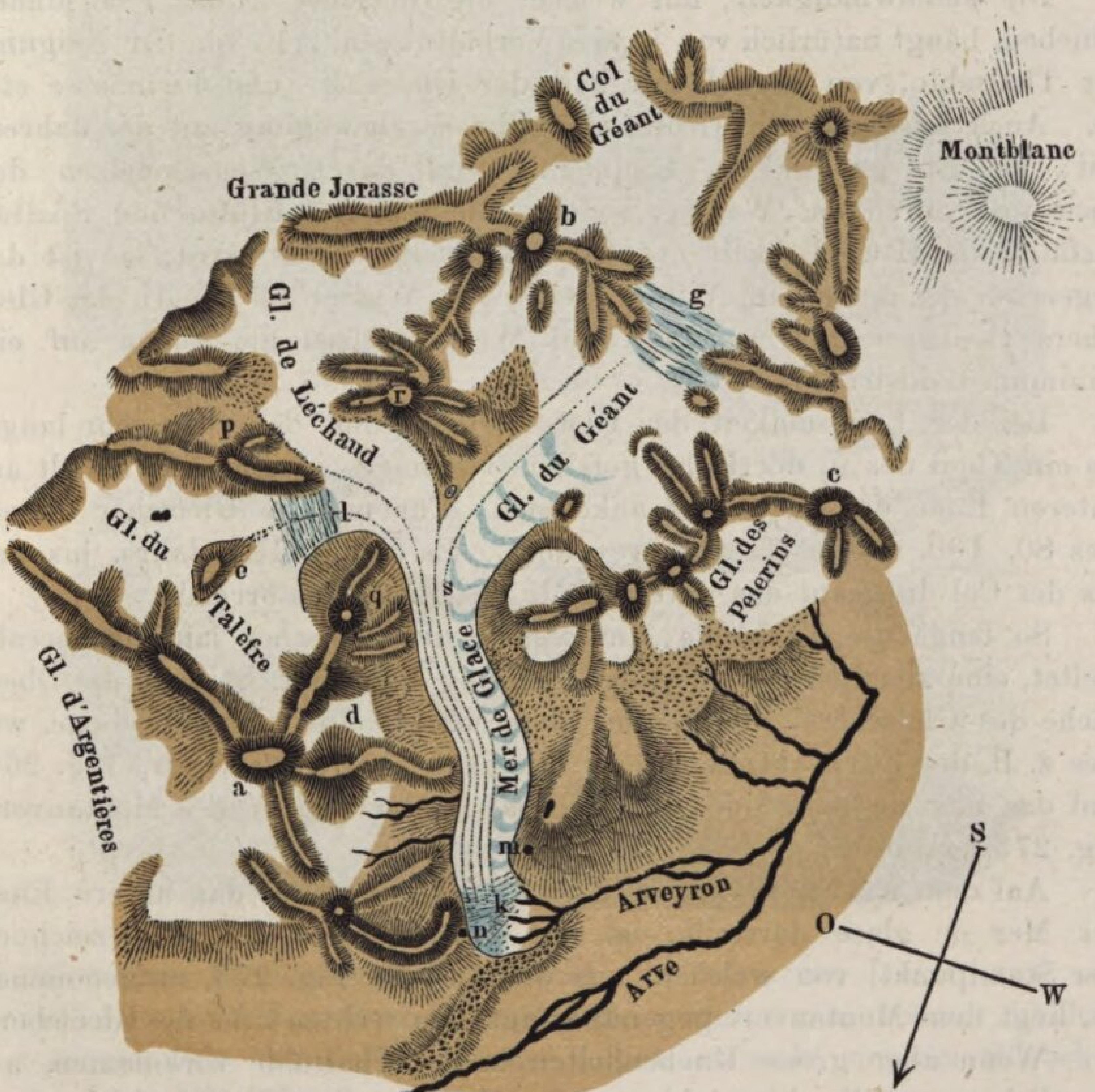
182 **Die Gletscherbewegung.** Auf den ersten Anblick erscheinen die Gletscher als eine völlig bewegungslose Masse, starr wie die sie umgebenden Felsen; eine etwas genauere Beobachtung zeigt aber alsbald eine thalabwärts gerichtete Bewegung.

Von der Wengernalp aus sieht man eine gewaltige Gletschermasse, welche von dem Sattel zwischen Mönch und Jungfrau nach Norden hin abgedacht ist und sich bis zu einer steilen Felswand vorschiebt, welche fast senkrecht gegen das Trümleten Thal abfällt. Hier erscheint nun der Gletscher durch eine verticale Eiswand begränzt, welche gleichsam die Fortsetzung jener Felswand bildet. Durch das langsame Voranschreiten des Gletschers wird nun bald da bald dort eine Parthie der Eismasse über den Rand der Felswand hinausgeschoben und stürzt dann, von der hinteren Gletschermasse sich trennend, unter furchtbarem Donner, im Ansehen einem Wasserfalle ähnlich, in die Tiefe hinab. An heissen Sommertagen, wo das Voranschreiten der Gletscher am schnellsten ist, kann man hier oft 3 bis 4 solcher Lawinenstürze in der Stunde beobachten.

Im Jahre 1788 liess Saussure beim Herabsteigen an den Felsen an der Seite der Eiscascade des glacier du géant (*g*, Fig. 272) eine hölzerne Leiter zurück. Im Jahre 1832, also 44 Jahre später, wurden Bruchstücke dieser Leiter bei *s* gefunden, woraus sich ergiebt, dass jene Theile des Gletschers in jedem Jahre durchschnittlich um 375 Fuss abwärts gewandert waren.

Im Jahre 1836 fiel ein Führer beim Uebergang nach dem aus der Masse des glacier de Talèfre hervorragenden Felsens *e*, Fig. 272, welcher

Fig. 272.



unter dem Namen des „jardin" bekannt ist, in eine Gletscherspalte, und es gelang ihm nur unter Zurücklassung seines Tornisters, wieder herauszukommen. Dieser Tornister wurde aber im Jahre 1846 in der Nähe von *l*, 4300 Fuss weiter abwärts, wieder aufgefunden, er hatte also mit dem Gletscher durchschnittlich einen Weg von 430 Fuss im Jahre zurückgelegt.

Im Jahre 1827 hatte sich Hugi auf der Mittelmoräne des Unteraaregletschers eine Hütte gebaut, um dort Beobachtungen anzustellen.

Im Jahre 1841 stand sie 4884 Fuss tiefer, sie hatte also in jedem Jahre einen Weg von durchschnittlich 349 Fuss zurückgelegt.

Um sich von dem Fortrücken der Gletscher zu überzeugen und seine Geschwindigkeit zu messen, bedarf es übrigens nicht so langer Perioden; mit genaueren Messinstrumenten kann man sie schon im Laufe eines einzigen Tages wahrnehmen und messen. Solche Messungen haben ergeben, dass die Mitte des Eismeeres bei Chamouni im Sommer täglich um 20 Zoll im Tage fortschreitet, eine Geschwindigkeit, welche gegen die untere Eiscascade hin auf 35 Zoll steigt.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Gletscher in das Thal hinabschieben, hängt natürlich von localen Verhältnissen, z. B. von der Neigung der Thalsohle, von der Mächtigkeit der Gletscher- und Firnmasse etc. ab. Auch schwankt die Grösse der Gletscherbewegung mit der Jahreszeit; sie ist grösser im Sommer, wenn durch Wegschmelzen der Basis und durch das Wasser, welches die feineren Klüfte und Spalten ausfüllt, die Beweglichkeit der Gletschermasse erhöht wird; sie ist dagegen am geringsten im Winter, wenn das Wasser im Innern des Gletschers theilweise gefroren und das Wegschmelzen am Boden auf ein Minimum reducirt ist.

Bei der Langsamkeit der Gletscherbewegung dauert es sehr lange, bis ein Theil des in der Höhe gefallenen Schnees in Eis verwandelt am unteren Ende des Gletschers ankommt. Für manche Gletscher dauert dies 80, 100 und noch mehrere Jahre. Es dauert 120 Jahre, bis das Eis des Col du géant das untere Ende des Eismeeres erreicht.

So lange die Thalsohle, auf welche der Gletscher langsam herabgleitet, eine ziemlich gleichförmige Neigung beibehält, ist auch die Oberfläche des Gletschers, die Spalten abgerechnet, eine ziemlich ebene, wie dies z. B. der Zermattgletscher in seinen oberen Parthien, Fig. 264, und das mer de glace im Chamounithal in der Gegend des Montanvert, Fig. 273, erläutern.

Auf dem Kärtchen, Fig. 272 (a. S. 509), welches das untere Ende des Mer de glace darstellt, ist der Montanvert mit *m* bezeichnet. Der Standpunkt, von welchem aus die Ansicht, Fig. 273, aufgenommen ist, liegt dem Montanvert gegenüber auf dem rechten Ufer des Gletschers.

Wenn aber grosse Unebenheiten in der Thalsohle vorkommen, namentlich wenn die bis dahin sanfte Neigung des Gletscherbodens an einer bestimmten Stelle steiler abzufallen beginnt, wie dies z. B. auf dem glacier du géant bei *g*, Fig. 272, auf dem glacier du Talèfre bei *l* und auf dem mer de glace bei *k* der Fall ist, so muss nun eine stärkere Zerklüftung des Eises eintreten. Bei dem rascheren Voranschreiten des unteren Gletschertheiles muss an einer solchen Stelle ein Abbrechen der Eismassen stattfinden, welche den vorangegangenen nachstürzen und so ein Chaos von Eisblöcken und Eisnadeln erzeugen, wie man es Fig. 274 sieht, welche das Mer de glace darstellt, wie es von der in Fig. 272 mit *n* bezeichneten, unter dem Namen des Chapau bekannten Stelle aus erscheint.

Solche stark zerklüftete Stellen der Gletscher werden Eiscascaden genannt.

Im Hintergrunde der Fig. 274 erblickt man den Bossongletscher.

Die untere Gränze des Gletschers wird sich natürlich da finden, wo gerade so viel Eis an der vorderen Fläche wegschmilzt, als die Masse

Fig. 273.



des Gletschers in gleicher Zeit vorrückt. In wärmeren Jahren wird sich deshalb der Gletscher etwas zurückziehen, und wenn mehrere kühlere und schneereiche Jahre auf einander folgen, so senkt sich der Gletscher weiter in das Thal herab.

Die Gletscher müssen sich demnach in den Thälern der Hochgebirge weit unter die Gränze des ewigen Schnees herabziehen, wie dies auch in Fig. 263 bei Nr. 8 angedeutet ist. So reicht z. B. der untere Grindelwaldgletscher, welcher überhaupt unter allen Alpengletschern am tiefsten herabsteigt, bis zu einer Höhe von 3065 Fuss über den Meeresspiegel herunter, während die Schneegränze in jenen Gegenden ungefähr 8000 Fuss hoch ist.

Die Gletscher senken sich also in eine Region herab, welche schon eine üppige Vegetation zeigen kann, und so kommt es, dass man nicht

selten die unteren Parthien der Gletscher von Getreidefeldern und von Baumwuchs umgeben findet.

Fig. 274.



183 **Moränen und Gletscherschliffe.** Von den Thalwänden, zwischen denen die Gletscherströme sich hinabsenken, fällt fortwährend Schutt, bald fallen kleinere, bald grössere Gesteinstrümmer auf die Oberfläche der Gletscher herab, welche theils durch Verwitterung von der Felsmasse losgelöst, theils durch Gefrieren des Wassers in ihren Spalten abgesprengt worden sind und die vorzugsweise auf dem Rande des Gletschers liegen bleiben. Diese Erd- und Gesteinsmassen, welche der Oberfläche des Gletschers meist ein schmutziges Ansehen geben, wandern nun mit der ganzen Gletschermasse thalabwärts bis zum unteren Gletscherende, welches in Folge dessen von mehr oder minder mächtigen Trümmerwällen umgeben erscheint, welche unter dem Namen der Moränen bekannt sind. Die auf der Seite des Gletschers abgesetzten Trümmerwälle werden Seitenmoränen genannt.

Die vor dem Gletscherende angehäuften Gesteinsmassen werden Frontmoränen oder auch Stirnwälle genannt. Wenn die Ausdehnung

des Gletschers in der Art zunimmt, dass sein unteres Ende mehr und mehr vordringt, so wird die ganze Frontmoräne mit unwiderstehlicher Gewalt von der Eismasse fortgeschoben. Wenn dann aber wieder einige Jahre folgen, in welchen der Gletscher zurückgeht, d. h. in welchen das Abschmelzen des vorderen Endes rascher erfolgt als das Vordringen der Masse, so zieht sich das Gletscherende allmälig von dem Steinwalle zu-

Fig. 275.



rück, der so die Gränze bezeichnet, bis zu welcher früher der Gletscher vorgedrungen war. Ein schönes Beispiel solcher alter Frontmoränen bietet der Rhonegletscher, Fig. 275. Man sieht hier deutlich, wie das untere Gletscherende unmittelbar von einem Trümmerwall umgeben ist. Ausserdem sieht man aber einige noch alte Frontmoränen, welche in einiger Entfernung vom Gletscher denselben concentrisch umgeben.

Wenn zwei Gletscherströme zusammenstossen, um sich zu einem einzigen zu vereinigen, wie z. B. der Glacier de Lechaud und der Glacier du Géant, Fig. 272, welche zusammen das Mer de glace bilden, so stösst das linke Ufer des einen mit dem rechten des anderen zusammen und so gelangen die Gesteinsmassen, welche auf den einander zugewendeten Ufern der beiden Gletscher liegen, auf die Mitte des durch ihre Vereinigung gebildeten, auf dessen Mitte sie dann weiter abwärts wandern. Ein solcher, auf der Oberfläche des Gletschers parallel mit seinen Ufern sich fortziehender Steinwall wird eine Mittelmoräne oder Gufferlinie genannt. Auf dem Kärtchen, Fig. 272, sieht man, wie auf dem Eismeer fünf solcher Gufferlinien, deren Ursprung man leicht auffinden kann, parallel neben einander herziehen. Auch auf der Karte des Lysgletschers, Fig. 278, lassen sich mehrere solcher Mittelmoränen verfolgen. Fig. 276 stellt die mächtige Mittelmoräne des Unteraargletschers dar, welcher durch die Vereinigung zweier Gletscherströme gebildet wird, von denen der eine von den Firnfeldern des Finsteraarhorns, der andere von denen des Schreckhorns herabkommt.

Ein anderes schönes Beispiel einer Mittelmoräne bietet der grosse Aletschgletscher, von welchem Fig. 277 (a. S. 515) eine Ansicht bietet.

Unter den zahllosen grösseren und kleineren Gesteinstrümmern, welche von dem Gletschereis getragen thalabwärts wandern und in den Endmoränen angehäuft werden, kommen bisweilen auch solche von enormer Grösse vor, ja in alten Moränen hat man solche von der Grösse zweistöckiger Häuser gefunden.

In der Region des Firnes sind die Gufferlinien noch nicht über die Firnfläche erhoben, sobald sie hingegen die Firnfläche überschritten und den eigentlichen Gletscher erreicht haben, erheben sie sich über das

Fig. 276.



Niveau der übrigen Gletschermasse, weil sie das von ihnen bedeckte Eis vor den Sonnenstrahlen schützen, unter deren Einfluss das unbedeckte Eis rasch wegschmilzt. Wenn einzelne grössere Steinblöcke isolirt auf dem Eise liegen, so geht derselbe Process vor sich, es entstehen sogenannte Gletschertische, d. h. Steinblöcke, welche von einem Eiskegel getragen werden, wie man deren in Fig. 276 mehrere sieht. Wenn der Eiskegel nach und nach zu weit abgeschmolzen ist, so fällt der Steinblock wieder auf die Oberfläche des Gletschers herab.

Solche Steine, welche entweder durch Spalten hinabgefallen oder vom Boden des Thales losgelöst in die untere Fläche des Gletschers gleichsam eingebacken sind, werden mit dem Eise allmälig über den Boden des Gletscherthales hingeschoben, indem sie gleichzeitig durch die Last des über ihnen liegenden Eises gegen den Boden angepresst werden. Diese Steine und der Felsboden, über welchen sie hingeschoben werden, werden

durch ihre gegenseitige Reibung zu einem feinen Staub zermalmt, welcher das Wasser des aus dem unteren Ende des Gletschers hervorströmenden Baches trübe und milchig macht. Die Felsen des Thalgrundes und der Seitenwände werden natürlich die Spuren dieser gewaltigen Reibung zeigen;

Fig. 277.



die scharfen Ecken und Kanten der Felsen werden abgestumpft und gerundet, die Flächen werden geebnet und förmlich geschliffen und polirt, und da, wo zufällig einzelne lose Gesteinsstücke zwischen dem Gletschereis und den seitlichen Felsen eingekeilt sind, werden durch das gewaltsame Fortschieben dieser Gesteinsfragmente in den seitlichen Felswänden Ritzen

und Streifen hervorgebracht, welche die Wirkung der Gletscher wesentlich von der abrundenden und glättenden Wirkung des fliessenden Wassers unterscheiden.

Fig. 278.

KARTE DES LYSGLETSCHERS.



184 **Die Gletscher verschiedener Gegenden.** Wir haben bis jetzt nur die Gletscher der Alpen betrachtet, welche vorzugsweise näher untersucht worden sind. Sehr mächtige Gletscher finden sich im Kaukasus, während die der Pyrenäen viel weniger ausgedehnt sind als die

der Alpen. Auch Norwegen hat bedeutende Gletscher aufzuweisen, obgleich die Gebirgsformation ihrer Bildung nicht so günstig ist als in den Alpen.

Je weiter ein Gebirge von dem Aequator entfernt ist, desto tiefer werden sich die Gletscher herabsenken, weshalb sie in den Polargegenden in sehr bedeutender Ausdehnung auftreten. Der zehnte Theil der Insel Island ist mit Gletschern bedeckt, und in Grönland sowohl wie in Spitzbergen reichen die Gletscher bis zum Meere hinab. Solche in das Meer vorgeschobene Gletschermassen werden öfters durch mancherlei Ursachen vom Lande losgelöst, und werden dann durch die Meeresströmungen als kolossale Eisberge weit von dem Orte ihrer Entstehung weggeführt.

Ausserhalb der Polargegenden findet man in keinem anderen Theile der Erde eine solche Anhäufung von Gletschern, wie in West-Tibet. Während das Mer de glace ungefähr $1\frac{1}{2}$ und der Aletsch-Gletscher nur ungefähr 3 geographische Meilen (1 geogr. Meile = 22 842 par. Fuss) lang sind, kommen hier von den mächtigen über 24 000 par. Fuss hohen Gipfeln zahlreiche Gletscherströme herab, deren Länge 3 bis 8 geographische Meilen beträgt. Auch alle anderen Gletscherphänomene zeigen sich hier in riesigem Maassstab; so sind dort die Spalten im Eis von grosser Breite und furchtbarer Tiefe. Bei einem Versuch, die Dicke des Eises in einem dieser gähnenden Abgründe zu messen, erreichte die 150 par. Fuss lange Leine den Boden nicht. Messungen an den Enden der Gletscher ergaben eine Dicke von 300 bis 400 Fuss; höher oben ist sie jedenfalls noch beträchtlicher. An der Oberfläche bilden sich Wasserströme und Seen von 2500 bis 10 000 Fuss Länge, deren Wasser gelegentlich mit einem lauten, brüllenden intermittirenden Geräusch in grossen Höhlen oder „moulins“ verschwindet.

Der Hauptgletscher des Boltoro zeigt eine wunderbare Anzahl riesiger Moränen, welche ihn streifenförmig in 15 Linien aus verschiedenem Gestein, wie grauem, gelbem, braunem, blauem und rothem, in verschiedenen Schattirungen überziehen, aber nur auf dem oberen Theile des Gletschers ganz getrennt von einander lagern, während sie am unteren Ende die ganze Oberfläche bedecken, so dass sie das Eis vollständig verbergen. In der Mitte dieser Moränen befindet sich ein Streifen von riesigen Eisblöcken, wie er auf anderen Gletschern noch nicht beobachtet worden ist. (Petermann's Mittheilungen 1863. S. 66.)

Nachdem was oben über die Bildung der Gletscher gesagt wurde, ist klar, dass der Wechsel der Jahreszeiten für dieselbe wesentlich ist; die Gletscher fehlen deshalb auch in den schneebedeckten Gebirgen der Tropen; in der Aequatorealzone von Südamerika kommen keine Gletscher vor, obgleich die Cordillere dort weit in die Region des ewigen Schnees hineinragt. Nach den Beobachtungen von Philipp und Leybold kommen in Südamerika die Gletscher erst unter dem 35. Grad südlicher Breite am Descubezado da Maule und unter dem 36. Grade südlicher Breite am Nevado da Chillan vor. (Petermann's Mittheil. 1863. S. 255).

In ausgezeichnetster Weise ist das Gletscherphänomen in den zum erstenmale von Haast genauer untersuchten Alpen der Südinsel von Neu-Seeland entwickelt. Zwischen dem 43. und dem 44. Grade südlicher Breite schätzt Haast die Kammhöhe des Gebirges zu 9000 Fuss, während die einzelnen Gipfel sich zu einer Höhe von 10 000 bis 13 000 Fuss erheben. Die Gränze des ewigen Schnees findet sich in jener Gegend in einer Höhe von 7500 bis 7800 Fuss. Aus den Firnfeldern, welche die kolossalen Schneepyramiden umgeben, entwickeln sich Gletscherströme, welche im Verhältniss zu den Berghöhen viel bedeutender sind als die Gletscher der europäischen Alpen (ohne Zweifel wegen des feuchten insularen Klimas von Neuseeland) und welche theilweise bis zu einer Tiefe von 3760 und 3400 Fuss über dem Meeresspiegel herabsteigen.

Auffallend gross ist die Masse des Gletscherschlammes, welchen viele der neuseeländischen Gletscherbäche mit sich führen. So ist z. B. das Wasser des von Gletscherbächen gespeisten 3 geographische Meilen langen und 1 Meile breiten Tekapo-Sees nicht klar, wie das Wasser der Schweizer Seen, sondern so milchig trübe, dass es in ein Glas geschöpft aussieht, als ob Milch in dem Glase gewesen und man Wasser dazu gegossen hätte. Nur nach Monate langem kalten und trockenen Wetter klärt sich das Wasser etwas.

185 **Die Eiszeit.** Abgesehen davon, dass im Sommer das untere Gletscherende sich zurückzieht, während es im Winter vordringt, ist die mittlere Lage, um welche dasselbe im Laufe des Jahres schwankt, eine veränderliche, so dass oft längere Perioden hindurch der Gletscher vordringt um sich dann für längere Zeit wieder zurückzuziehen. Gegenwärtig sind die meisten Gletscher des Berner Oberlandes im Rückgang begriffen. So hat sich z. B. der untere Grindelwaldgletscher seit einigen Jahren so weit zurückgezogen, dass im Jahre 1865 ein bisher ganz mit Eis bedeckter Steinbruch frei wurde, in welchem man zwei im Jahre 1750 behauene Marmorblöcke vorfand, welche in den Garten des Museums zu Bern gebracht und mit einer entsprechenden Inschrift versehen wurden.

Es lässt sich historisch nachweisen, dass die meisten Gletscher der Schweiz im Mittelalter eine viel geringere Ausdehnung hatten, so dass über manche Pässe ein lebhafter Verkehr stattfand, welche gegenwärtig so vereist sind, dass sie höchstens von einzelnen Gemsjägern oder Touristen besucht werden. Dagegen war in vorhistorischen Zeiten die Ausdehnung der Alpengletscher eine bei weitem bedeutendere als sie gegenwärtig ist, wie aus den vielfachen Spuren hervorgeht, welche die Gletscherthätigkeit jener Zeiten zurückgelassen hat.

So findet man in vielen Alpenthälern, namentlich aber im Aarethal, in namhafter Höhe über der Thalsohle Felsen, welche deutliche Gletscherschliffe zeigen. Der Weg von Meyringen nach der Grimsel geht über Felsplatten, welche so glatt polirt sind, dass man Rinnen einhauen musste, um es für Menschen und Pferde möglich zu machen, mit Sicherheit darüber zu gehen.

Weit entfernt von der gegenwärtigen Gletscherregion (z. B. zu Zürich) findet man mächtige alte Moränen, deren aus den Hochalpen stammendes Trümmergestein dem Boden fremd ist, auf welchem sie liegen. Ebenso findet man zahlreiche zum Theil kolossale Granitblöcke, sogenannte erratische Blöcke, über einen grossen Theil der ebenen Schweiz, bis zu dem Ostabhang des Jura, wo sie sich noch bis zu einer Höhe von 1000 Fuss über dem Spiegel des Neuchateller Sees finden.

Alle diese Thatsachen beweisen, dass sich die Gletscher der Montblanckette, des Monte Rosa, des Gotthard und der Berner Alpen ehemals durch das Thal der Arve, der Rhone, der Aare und des Rheines weit über die jetzigen Gränzen des Gletschergebietes erstreckten, und der grösste Theil der heutigen Schweiz vollständig vereist war.

Aehnliche Spuren alter Gletscher findet man auch auf den britischen Inseln und auf der scandinavischen Halbinsel. Auf der norddeutschen Ebene bis nach Finnland hin findet man zahlreiche Granitblöcke, welche zweifellos aus den schwedischen Gebirgen stammen und welche kaum anders als durch Gletscher so weit von ihrer Heimath weggeführt sein können.

Wie aber lässt sich eine solche Eiszeit erklären, wenn man bedenkt, dass, geologischen Thatsachen zufolge, welche wir in einem späteren Paragraphen werden kennen lernen, die Temperatur der Erdoberfläche in vorhistorischer Zeit eine weit höhere gewesen sein muss, als gegenwärtig?

Einige schweizerische Naturforscher glauben eine Lösung dieses scheinbaren Widerspruchs in dem Umstand gefunden zu haben, dass nach neueren Forschungen die heutige Sahara früher zweifellos Meeresboden gewesen sei, dass also hier früher ein ausgedehntes Meer vorhanden gewesen sein müsse. Ein solches Meer aber, meinten sie, müsse abkühlend auf die Temperatur von Europa gewirkt und die enorme Ausdehnung der Gletscher möglich gemacht haben. Nachdem aber die Sahara über den Spiegel des Meeres emporgestiegen war, habe die heisse Luft, welche von dem glühenden Boden des afrikanischen Continents aufsteigt, als Föhn über die Alpen verbreitet, ein namhaftes Abschmelzen der Gletscher bewirkt und dadurch dieselben auf ihre gegenwärtige Ausdehnung reducirt.

Diese Erklärung der Eiszeit fand vielfachen Widerspruch. Nicht etwa, dass man die frühere Ueberfluthung der Sahara durch die Meereswogen bezweifelt hätte; diese zugestanden, ist man nur den Consequenzen entgegengetreten, die man daraus gezogen hat.

Es ist nämlich durchaus nicht nachgewiesen, dass die Gegenwart eines weit ausgedehnten, sich bis zu den Tropen erstreckenden Meeres im Süden von Europa direct einen so stark erkaltenden Einfluss auf diesen Welttheil habe ausüben können, und dass die hohe Temperatur des Föhns wirklich von der Sahara abzuleiten sei. Wir werden auf diesen Punkt später noch einmal zurückkommen.

Die Existenz eines ausgedehnten Meeres im Süden von Europa und der Umstand, dass ehedem die Temperatur aller Meere eine höhere war als gegenwärtig, konnte aber in ganz anderer Weise eine grössere Aus-

dehnung der Gletscher zur Folge haben. Die Höhe der Schneegränze und die Tiefe, zu welcher die Gletscher herabsteigen, ist ja, wie wir schon gesehen haben, unter sonst gleichen Umständen wesentlich durch die Menge des Schneefalls in der Höhe bedingt. Ein ausgedehnteres und wärmeres Meer im Süden von Europa musste zunächst eine bedeutende Vermehrung des Schneefalles in den Alpen zur Folge haben, und zwar um so mehr, als wir wohl annehmen können, dass die Gipfel und Kämme derselben sich ehedem noch zu grösserer Höhe erhoben als gegenwärtig. Auf der Südgränze des Himalayagebirges geht ja unter dem Einfluss des warmen indischen Oceans die Schneegränze um 3000 Fuss tiefer herab als auf dem Nordabhang. Nehmen wir nun an, dass durch die Existenz eines ausgedehnten warmen Meeres im Süden von Europa eine nur halb so grosse Senkung der Schneegränze in den Alpen bewirkt worden wäre, so würde dies vollständig genügen, um die Eiszeit zu erklären.

186 Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre.

Wenn man mit Hülfe einer Sammellinse Zunder durch Concentration der Sonnenstrahlen anzünden will, so wird man einen grossen Unterschied finden, je nachdem man den Versuch Mittags anstellt, wo die Sonne hoch am Himmel steht, oder des Abends, wenn sie ihrem Untergange nahe ist; während sich der Schwamm des Mittags leicht entzündet, geschieht dieses am Abend entweder nur sehr schwierig oder gar nicht; die Intensität der von der Sonne zu uns kommenden Wärmestrahlen ist also in diesen beiden Fällen eben so ungleich wie die Intensität der Lichtstrahlen; Abends können wir die rothgelbe Scheibe der untergehenden Sonne wohl ansehen, Mittags aber wird das Auge durch den Glanz der Sonnenstrahlen geblendet.

Dieser Unterschied in der Intensität der Licht- und Wärmestrahlen, welche von der Sonne zu uns kommen, rührt offenbar daher, dass der Weg, welchen die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurch zurückzulegen haben, bedeutend grösser ist, wenn die Sonne dem Horizonte nahe steht; je grösser aber der Weg ist, den die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen, desto mehr Licht und Wärme wird absorbirt werden.

Um annähernd die Wärmeabsorption in der Atmosphäre zu bestimmen, hat Herschel ein Instrument construirt, welches er Heliometer genannt hat. Pouillet gab diesem Instrumente folgende vervollkommnete Einrichtung.

Das cylindrische Gefäss v, Fig. 279, ist aus dünnem Silberblech gemacht; sein Durchmesser beträgt ungefähr 1 Decimeter, seine Höhe 14 bis 15 Millimeter, so dass es ungefähr 100 Gramm Wasser aufnehmen kann. In dem Gefässe befindet sich die Kugel eines Thermometers, dessen Röhre durch einen das Gefäss verschliessenden Kork in eine hohle Metallröhre hineinragt; diese Metallröhre geht durch zwei Hülsen bei c und c', so dass sie mit dem Gefässe v mittelst des Knopfes b beständig

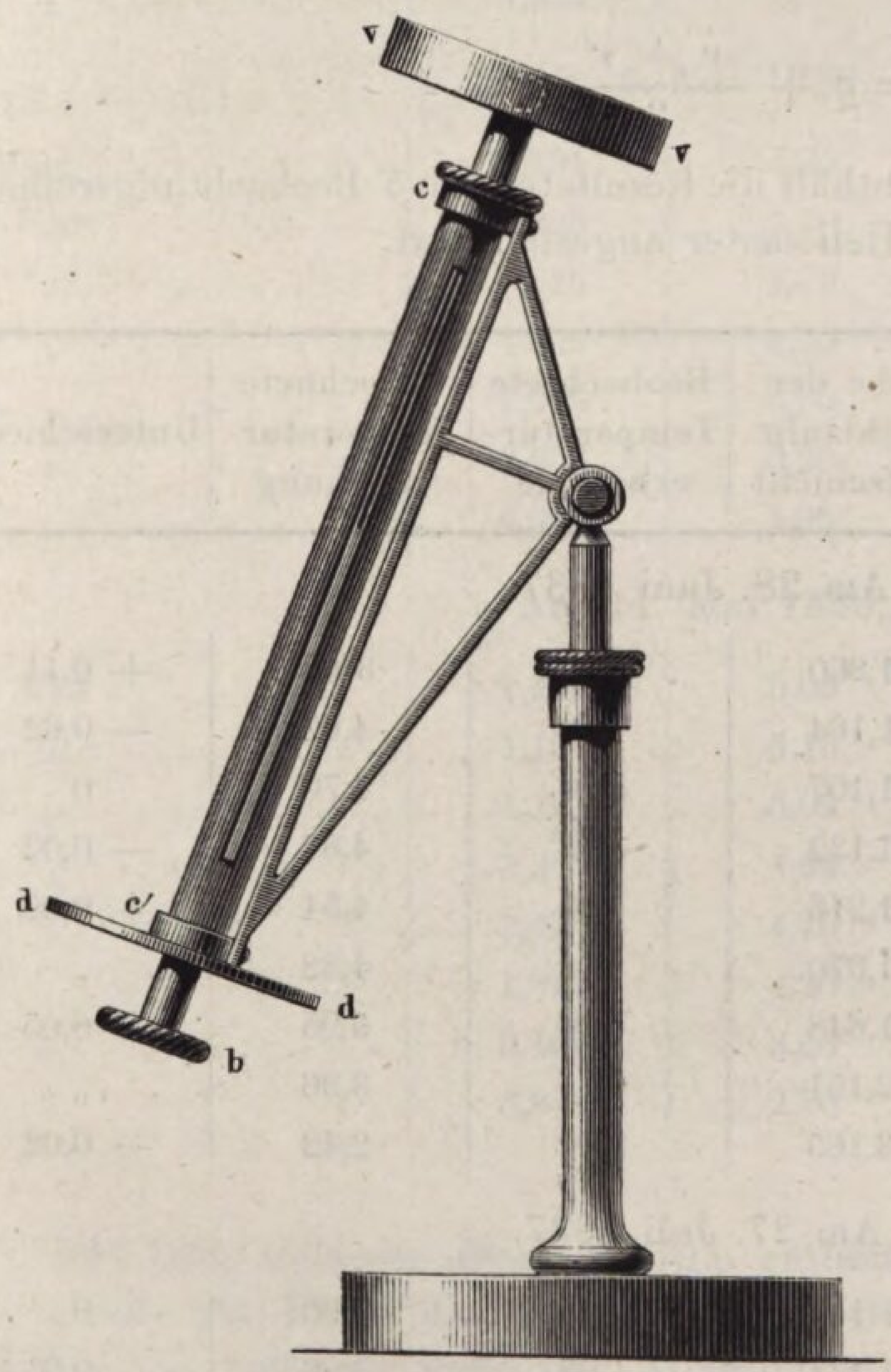
um ihre Axe gedreht werden kann; diese Umdrehung hat zum Zweck, das Wasser im Gefässe v in beständiger Bewegung zu erhalten, damit sich die Wärme in demselben möglichst gleichförmig verbreitet.

Die obere Fläche des Gefässes v ist mit Russ sorgfältig geschwärzt. Die Scheibe d hat denselben Durchmesser wie das Gefäss v; richtet man also das Instrument so gegen die Sonne, dass der Schatten des Gefässes v gerade die Scheibe d deckt, so kann man sicher sein, dass die Sonnenstrahlen die vordere Fläche des Gefässes rechtwinklig treffen.

Wenn die geschwärzte Oberfläche des Instrumentes rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen wird, so steigt die Temperatur des Wassers in v über die der Umgebung.

Wenn das Gefäss v sich erwärmt, so verliert es auch Wärme, theils durch Strahlung gegen den Himmelsraum, theils an die Umgebung. Wenn ein solcher Verlust nicht stattfände, so würde die durch den wärmenden Einfluss der Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung des Gefässes v jedenfalls bedeutender sein als die, welche man beobachtet; um aber auf die Wärme schliessen zu können, welche dem Instrumente wirklich durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist deshalb an den beobachteten Temperaturerhöhungen eine Correction anzubringen. Der Versuch wird deshalb in folgender Weise angestellt.

Fig. 279.



Wenn das Wasser in dem Gefässe die Temperatur der umgebenden Luft hat, wird das Instrument nahe an dem Orte, wo man es den Sonnenstrahlen aussetzen will, im Schatten aufgestellt, und zwar so, dass die Wärme von der berussten Fläche frei gegen den Himmel ausstrahlen kann. Man beobachtet nun fünf Minuten lang die Erkaltung; in der folgenden Minute bringt man einen Schirm vor die schwarze Fläche und richtet dann den

Apparat so, dass die Sonnenstrahlen rechtwinklig einfallen, wenn man am Ende der sechsten Minute den Schirm wegnimmt. Während der folgenden fünf Minuten beobachtet man die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, indem man das Wasser des Gefässes v in beständiger Bewegung erhält; am Ende der elften Minute setzt man den Schirm wieder vor, zieht den Apparat an seine frühere Stelle zurück und beobachtet dann die während der folgenden fünf Minuten stattfindende Erkaltung.

Es sei g die in fünf Minuten durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, r und r' die Temperaturabnahme, welche der Apparat in den fünf vorhergehenden und in den fünf folgenden Minuten erleidet, so ist die Temperaturerhöhung t, welche durch die Sonnenstrahlen hervorgebracht sein würde, wenn kein Wärmeverlust stattgefunden hätte:

$$t = g + \frac{r + r'}{2}.$$

Die folgende Tabelle enthält die Resultate von 5 Beobachtungsreihen, welche Pouillet mit dem Heliometer angestellt hat.

Beobachtungsstunden	Dicke der durchlaufn. Luftschicht	Beobachtete Temperaturerhöhung	Berechnete Temperaturerhöhung	Unterschiede
		Am 28. Juni 1837.		
7 Uhr 30 M. Morgens	1,860	3⁰80	3⁰69	+ 0,11
10 „ 30 „ „	1,164	4,00	4,62	— 0,62
Mittag	1,107	4,70	4,70	0
1 Uhr	1,132	4,65	4,67	— 0,02
2 „	1,216	4,60	4,54	+ 0,06
3 „	1,370	„	4,32	„
4 „	1,648	4,00	3,95	+ 0,05
5 „	2,151	„	3,36	„
6 „	3,165	2,40	2,42	— 0,02
		Am 27. Juli 1837.		
Mittag	1,147	4,90	4,90	0
1 Uhr	1,174	4,85	4,86	— 0,01
2 „	1,266	4,75	4,74	+ 0,01
3 „	1,444	4,50	4,51	— 0,01
4 „	1,764	4,10	4,13	— 0,03
5 „	2,174	3,50	3,49	+ 0,01
6 „	3,702	3,35	3,42	— 0,07

Beobachtungs-stunden	Dicke der durchlaufn. Luftschicht	Beobachtete Temperatur-erhöhung	Berechnete Temperatur-erhöhung	Unterschiede
		Am 22. September 1837.		
Mittag	1,507	4,60	4,60	0
1 Uhr	1,559	4,50	4,54	— 0,04
2 „	1,723	4,30	4,36	— 0,06
3 „	2,102	4,00	3,97	+ 0,03
4 „	2,898	3,10	3,24	— 0,14
5 „	4,992	„	1,91	„
		Am 4. Mai 1838.		
Mittag	1,191	4,80	4,80	0
1 Uhr	1,223	4,70	4,76	— 0,06
2 „	1,325	4,60	4,62	— 0,02
3 „	1,529	4,30	4,36	— 0,06
4 „	1,912	3,90	3,92	— 0,02
5 „	2,603	3,20	3,22	— 0,02
6 „	4,311	1,95	1,94	+ 0,01
		Am 11. Mai 1838.		
11 Uhr	1,193	5,05	5,06	— 0,01
12 „	1,164	5,10	5,10	0
1 „	1,193	5,05	5,06	— 0,01
2 „	1,288	4,85	4,95	— 0,10
3 „	1,473	4,70	4,73	— 0,03
4 „	1,812	4,20	4,37	— 0,17
5 „	2,465	3,65	3,67	— 0,02
6 „	3,943	2,70	2,64	+ 0,06

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Beobachtungsstunden, die zweite die Dicke der von den Sonnenstrahlen durchlaufenen Luftschicht, die verticale Höhe der Atmosphäre gleich 1 gesetzt; die dritte enthält die beobachtete, die vierte die von Pouillet nach einer Formel, von der sogleich die Rede sein wird, berechnete Temperaturerhöhung des Wassers im Heliometer.

Aus dieser Tabelle sehen wir nun zunächst, dass die Sonnenstrahlen um so mehr an wärmender Kraft verlieren, je weiter der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurückzulegen haben. Betrachten wir z. B. die

Beobachtungen vom 11. Mai 1838, so finden wir, dass um 1 Uhr Nachmittags die Temperaturerhöhung 5,05° betrug, um 5 Uhr, wo die Dicke der durchlaufenen Luftschicht ungefähr doppelt so gross war, betrug die Temperaturerhöhung nur 3,65°, sie war also um 1,4° geringer; für die dreifache Dicke der Luftschicht, ungefähr um 6 Uhr Abends, war die Temperaturerhöhung nur 2,7°, also abermals um 0,9° geringer.

Man sieht daraus, dass die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen in einem etwas weniger raschen Verhältniss abnimmt als die Dicke der durchlaufenen Luftschicht wächst.

Es fragt sich nun, ob man aus solchen und ähnlichen Versuchen ein Gesetz für die Absorption der Wärmestrahlen in der Luft in der Weise ableiten kann, dass sich daraus die absolute Grösse der atmosphärischen Absorption ergiebt, dass man also die Temperaturerhöhung berechnen kann, welche das Wasser im Heliometer erfahren würde, wenn man das Instrument an die Gränze der Atmosphäre bringen könnte.

Pouillet hat gefunden, dass sich die Formel

$$t = a p^{\varepsilon}$$

recht gut den Beobachtungen anschliesst, wenn man für a immer den constanten Werth 6,72, für p aber einen Werth setzt, der von einem Tage zum anderen sich ändert. Dieser Werth von p ist nach den Beobachtungen vom

28. Juni . . .	0,7244
27. Juli . . .	0,7585
22. September .	0,7780
4. Mai . . .	0,7556
11. Mai . . .	0,7888

Für ε ist die jedesmalige Dicke der durchlaufenen Luftschicht zu setzen, wie sie in der zweiten Columne steht; nach dieser Formel sind die Werthe der vierten Columne berechnet.

Pouillet schliesst nun weiter, dass, wenn man in dieser Formel $\varepsilon = 0$ setzt, man die Temperaturerhöhung erhalten müsse, welche das Heliometer an der Gränze der Atmosphäre oder in dem Falle erfahren würde, dass die Atmosphäre keine Wärmestrahlen absorbirte. Man erhält für $\varepsilon = 0$

$$t = a = 6{,}72.$$

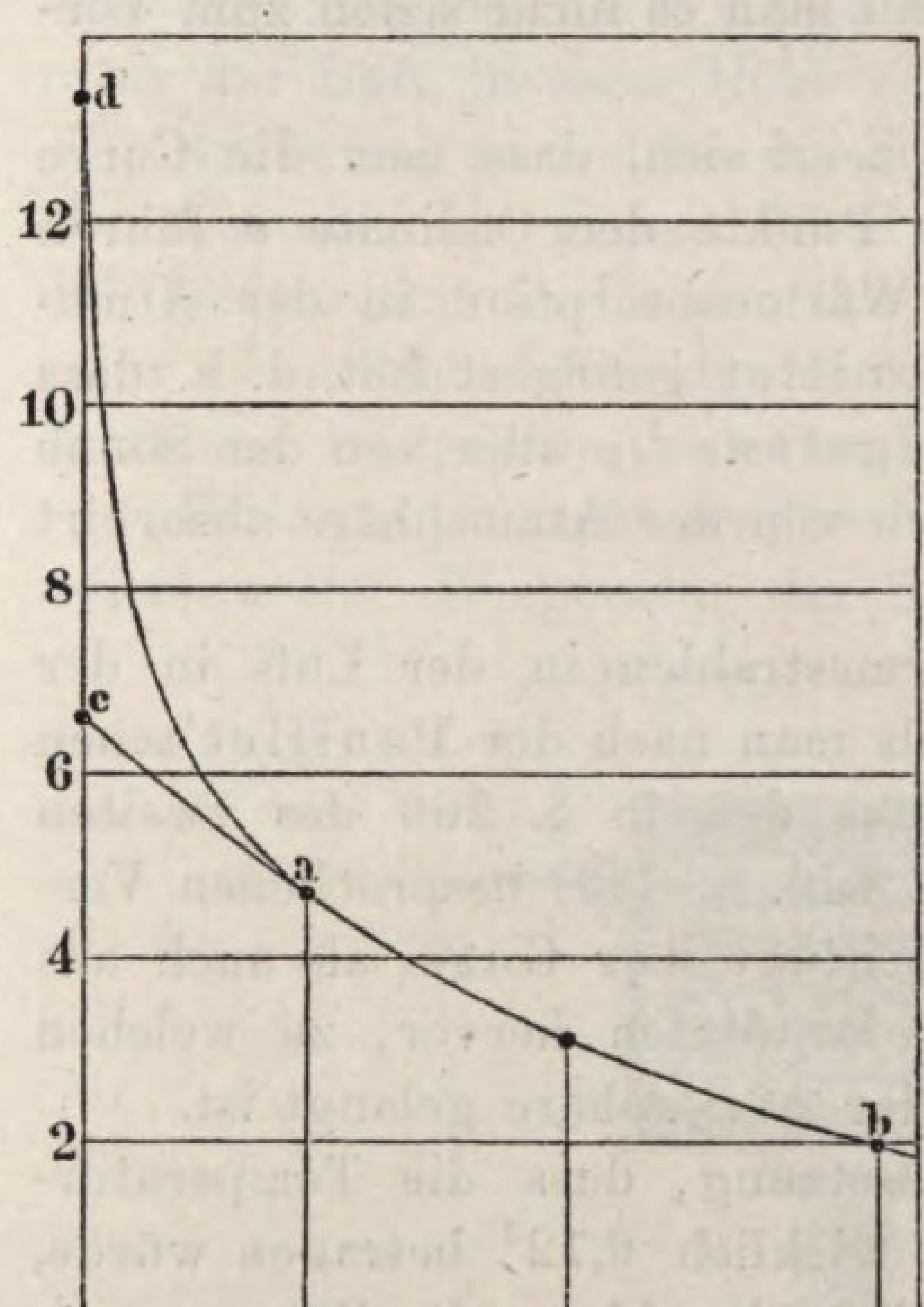
An der Gränze der Atmosphäre würde demnach die Temperatur des Instrumentes um 6,72° über die Temperatur der Umgebung steigen. Es werden demzufolge selbst am Mittag an ganz heiteren Tagen ungefähr $^1/_3$ der von der Sonne kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt; wenn der Himmel bewölkt oder nur mit einem Schleier überzogen ist, muss die Wärmeabsorption in der Luft noch viel bedeutender sein.

Dieses Resultat kann jedoch kaum als ein annähernd richtiges angesehen werden, wie sich aus folgender Betrachtung ergiebt.

Wir haben im Lehrbuch der Physik (7. Aufl. 2. Bd. S. 824) gesehen, dass, wenn Wärmestrahlen auf ein absorbirendes Mittel fallen, in den ersten Schichten eine stärkere Absorption stattfindet als in den folgenden. Die Wärmemengen, welche durch eine Glasplatte von 3, von 5 und von 7 Millimeter Dicke gehen, verhalten sich zu einander, wenn als Wärmequelle die Locatelli'sche Lampe dient, wie 65,3 : 62 : 60. Gesetzt nun, man hätte nur mit diesen drei Platten Versuche angestellt, man wüsste aber nicht, welches die directe Wirkung der Wärmequelle ist, könnte man sie wohl mit einiger Sicherheit aus diesen drei Versuchen ableiten? Gewiss nicht! Hier aber haben wir genau denselben Fall.

Die Curve *ab*, Fig. 280, stellt das Gesetz dar, nach welchem die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen abnimmt, wenn die Dicke der Luftschicht wächst. Die Curve ist nach den am 4. Mai 1838 Mittags, um 5 und um 6 Uhr gemachten Beobachtungen construirt, die Dicken der durchlaufenen Luftschichten sind als Abscissen, die entsprechenden Temperaturerhöhungen als Ordinaten aufgetragen. Um zu finden, wie gross die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre sein würde, muss man die Curve auch noch jenseits *a*, nach der Ordinate *o* hin, so verlängern, wie das Curvenstück innerhalb *ab* andeutet, d. h. so, dass das angesetzte Curvenstück mit dem schon vorhandenen eine continuirliche krumme Linie bildet; auf diese Weise ist die Curve bis *c* fortgesetzt, und danach wäre denn allerdings die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre 6,7⁰; allein wir können die Curve *ba* auch noch auf andere Weise fortsetzen, wir können sie nach *d* führen, und die Curve *dab* würde immer noch eine continuirliche krumme Linie sein, und wenn dieser Lauf der Curve das wahre Verhältniss darstellte, so würde die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre 12⁰ sein, in diesem Falle würden selbst am Mittag weit mehr als die Hälfte aller von der Sonne zur Erde kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt. Eines ist so gut möglich wie das andere, der Lauf der Curve innerhalb *ab* enthält nicht Bestimmungsstücke genug, um sie ausserhalb dieser Gränzen mit Sicherheit fortsetzen zu können.

Fig. 280.



Wenn man eine Formel ausfindig macht, welche sich wie die Pouillet'sche den Beobachtungen ziemlich gut anschliesst, so folgt daraus noch

nicht, dass sie den wahren Zusammenhang darstellt; man kann noch viele andere Formeln ausfindig machen, welche eben so gut, vielleicht auch noch besser, zu den Beobachtungen passen und welche doch für den Fall, dass man die Dicke der durchlaufenen Luftschicht gleich Null setzt, ganz andere Werthe für die Temperaturerhöhung an der Gränze der Atmosphäre geben.

Solche Formeln sind ganz zweckmässig, um innerhalb der Beobachtungsgränze Zwischenwerthe zu berechnen, über diese Gränzen hinaus kann man sie jedoch nicht mehr mit Sicherheit gebrauchen. Hätte man z. B. für verschiedene Temperaturen zwischen 20° und 80° die Dichtigkeit des Wassers mit der grössten Genauigkeit bestimmt, hätte man für die Abhängigkeit zwischen der Temperatur und der Dichtigkeit eine Formel construirt, welche sich den Beobachtungen sehr gut anschliesst, so würde sich aus denselben doch wohl schwerlich beweisen lassen, dass das Wasser bei 4° ein Dichtigkeitsmaximum hat, wenn man es nicht schon zum Voraus gewusst hätte.

Aus der Betrachtung der Fig. 279 zeigt sich, dass man die Curve von a aus nicht wohl zu einem tieferen Punkte der Ordinate o führen kann als zum Punkte c, dass also die Wärmeabsorption in der Atmosphäre wenigstens so gross ist wie Pouillet gefolgert hat, d. h. dass also selbst für grosse Sonnenhöhen wenigstens $^1/_3$ aller von der Sonne nach der Erde kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt werden.

Dass aber die Absorption der Wärmestrahlen in der Luft in der That eine viel bedeutendere sein muss, als man nach der Pouillet'schen Rechnung erwarten sollte, geht auch aus den in §. 266 des zweiten Bandes meines Lehrbuchs der Physik (7. Aufl. S. 833) besprochenen Versuchen Tyndall's über die Diathermanität der Gase, als auch aus den oben §. 140, S. 369 besprochenen Resultaten hervor, zu welchen Wild in Betreff der Lichtabsorption in der Atmosphäre gelangt ist.

Pouillet berechnet in der Voraussetzung, dass die Temperaturerhöhung des Heliometers in 5 Minuten wirklich 6,72° betragen würde, wenn die Atmosphäre keine Wärmestrahlen absorbirte, die Wärmequantität, welche in der angegebenen Zeit dem Instrumente durch die Sonnenstrahlen zugeführt würde, daraus schliesst er weiter auf die Wärmemenge, welche überhaupt von der Sonne auf die Erde gelangt, und kommt so zu dem Resultat, dass, wenn die Wärmemenge, welche die Sonne im Laufe eines Jahres auf die Erde sendet, auf derselben gleichförmig vertheilt wäre und dass sie ohne Verlust zum Eisschmelzen verwendet würde, dass sie alsdann im Stande wäre, eine die Erde einhüllende Eisschicht von 31 Metern Dicke zu schmelzen; und ferner, dass, wenn die Sonne ringsum von Eis umgeben wäre, und alle von ihr ausgehende Wärme ausschliesslich verwendet würde, um dieses Eis zu schmelzen, dass alsdann in einer Minute eine Schicht von 12 Metern Dicke weggeschmolzen werden würde.

Da die Grundlage der Betrachtungen und Rechnungen, durch welche Pouillet zu diesem Resultate gelangte, zu schwankend ist, so ist wohl eine nähere Erörterung derselben überflüssig.

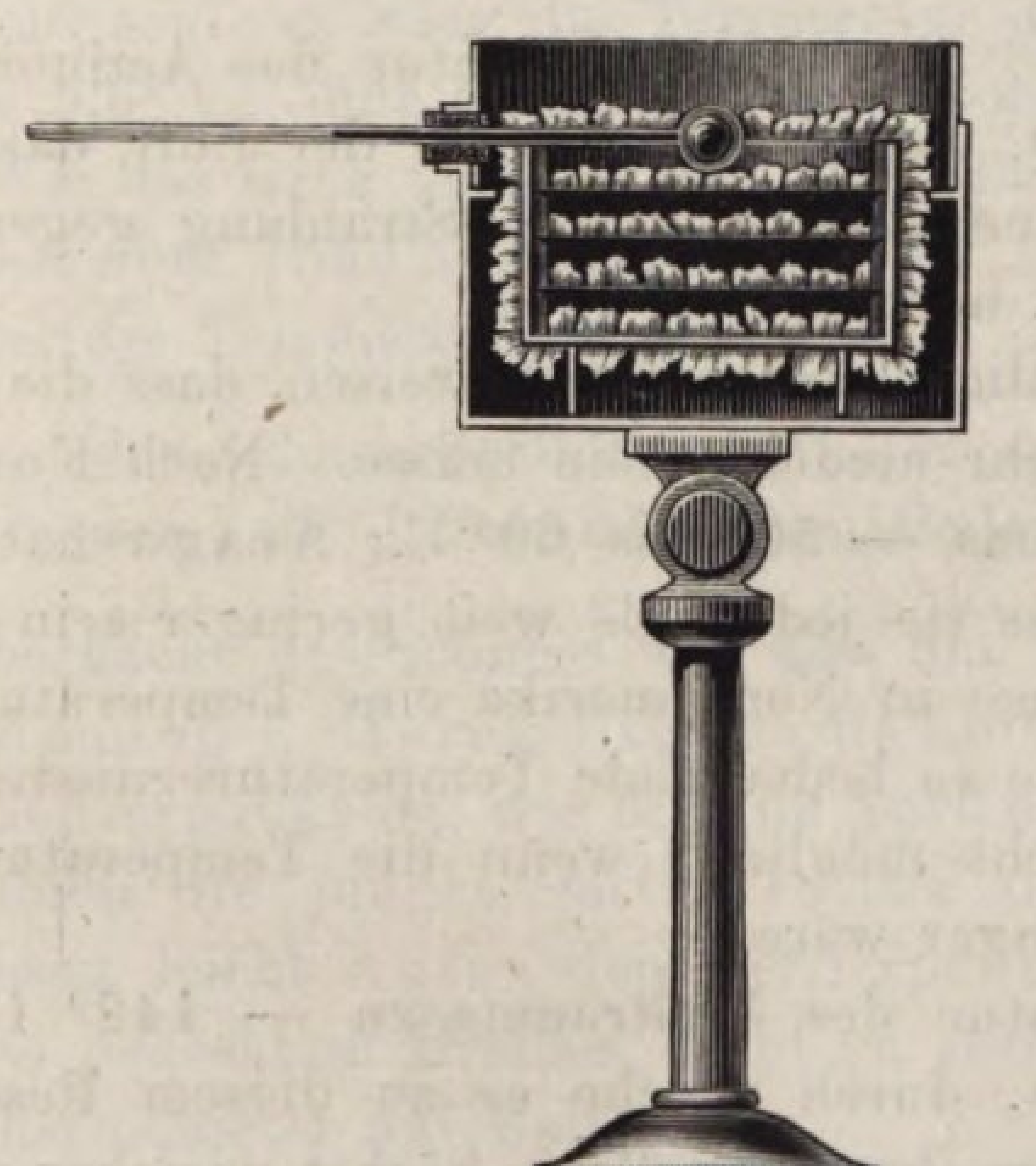
Die nächtliche Strahlung. Gleich wie der unmittelbar von 187
den Sonnenstrahlen getroffene Boden eine höhere Temperatur annimmt als die umgebende Luft, so sinkt die Temperatur des Bodens auch unter die Lufttemperatur, wenn er des Nachts seine Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlt, ohne dass ihm von dorther ein Ersatz für seinen Wärmeverlust zukäme, wie dies unter anderen die von Wells angestellten Versuche beweisen.

Wenn man in einer ruhigen heiteren Nacht kleine Massen von Heu oder Gras, Wolle, Baumwolle oder andere lockere, die Wärme schlecht leitende Substanzen auf den Boden legt, so findet man nach einiger Zeit, dass ihre Temperatur 6, 7 ja 8 Grad Celsius niedriger ist als die Temperatur der Luft, in einer Höhe von 6 bis 8 Fuss über dem Boden.

An Orten, an welche die Sonnenstrahlen nicht hindringen, von welchen aus aber ein grosser Theil des Himmels sichtbar, ist dieses Sinken der Temperatur des Grases, der Baumwolle u. s. w. unter die Lufttemperatur schon 3 bis 4 Stunden nach Mittag merklich; aber erst die nächtliche Strahlung bringt eine bedeutende Erkaltung der Erdoberfläche hervor.

Wilson beobachtete des Nachts einen Unterschied von fast 9° C. zwischen der Temperatur der Schneeoberfläche und der Lufttemperatur. Scoresby und Parrot haben in den Polarzonen ähnliche Beobachtungen bei einer Lufttemperatur von — 20° C. gemacht.

Fig. 281.



Um die Gesetze der nächtlichen Strahlung zu ermitteln, hat Pouillet ein Instrument construirt, welches er Actinometer nennt und welches Fig. 280 dargestellt ist. Es besteht aus einem Thermometer, welches in einem Metallcylinder horizontal in solcher Weise angebracht ist, dass durch Schwanenfedern jede Wärmezuleitung von unten und von der Seite her gehindert wird. Wenn dieser Apparat in einer heiteren Nacht ins Freie gestellt wird, so muss das Thermometer natürlich bedeutend unter die Temperatur der umgebenden Luft sinken. Die fol-

gende Tabelle enthält einige Resultate, welche **Pouillet** mit diesem Instrumente erhalten hat.

Tage.	Stunden.	Temperatur der Luft.	Temperatur des Actinometers.	Unterschiede.	Tage.	Stunden.	Temperatur der Luft.	Temperatur des Actinometers.	Unterschiede.
Vom 20. bis 21. April.					Vom 5. bis 6. Mai.				
20. April	8 Uhr Abds.	5,6	— 0,8	6,4	5. Mai	5 Uhr Abds.	25,5	19,9	5,6
	9 „ „	4,5	— 2,0	6,5		6 „ „	25,1	17,5	7,6
	10 „ „	3,6	— 3,0	6,6		7 „ „	23,1	15,0	8,1
21. April	4½ „ Mrgs.	0,0	— 7,0	7,0		8 „ „	22,9	13,9	9,0
	5 „ „	0,0	— 7,0	7,0		9 „ „	21,5	12,5	9,0
	5½ „ „	0,1	— 6,5	6,6		10 „ „	17,5	10	7,5
					6. Mai	4 „ Mrgs.	12,1	5	7,1
						4½ „ „	12,1	5	7,1
						5 „ „	12	6	6,0

Diese Versuche zeigen uns, dass die Temperatur des Actinometers fast in derselben Weise abnimmt, wie die Temperatur der Luft, dass also bei niedriger Lufttemperatur eine eben so starke Strahlung gegen den Himmelsraum stattfindet wie bei hoher.

Diese Wirkungen der nächtlichen Strahlung beweisen, dass die Temperatur des **Weltraums** eine sehr niedrige sein müsse. Nach **Fourier** ist die Temperatur des Weltraums — 50⁰ bis 60⁰ C.; **Arago** hat aber darauf aufmerksam gemacht, dass sie jedenfalls weit geringer sein muss, da man ja auf dem Fort Reliance in Nordamerika eine Temperatur von — 56,7⁰ C. beobachtet hat. Eine so bedeutende Temperaturerniedrigung wäre auf der Erdoberfläche nicht möglich, wenn die Temperatur des Weltraums nicht noch weit geringer wäre.

Pouillet hat die Temperatur des Weltraums zu — 142⁰ C. bestimmt; da jedoch die Schlüsse, durch welche er zu diesem Resultate gelangte, sehr gewagt sind, indem ihre Grundlage höchst unsicher ist, so mag hier die Anführung dieses Resultats genügen.

In **Bengalen**, wo die Temperatur der Luft **nie** auf Null fällt, benutzt man die nächtliche Strahlung, um ziemlich bedeutende Quantitäten von **Eis** herzustellen. Von einer derartigen Eisfabrik, welche mehr als 300 Personen beschäftigt, giebt **Williams** folgende Beschreibung:

Ein wohl geebnetes, ungefähr 4 Acres (ungefähr 160 000 Quadratfuss) haltendes Terrain ist in Quadrate von 1 bis $1^1/_2$ Meter Seite getheilt, welche durch kleine Erdwälle von ungefähr 1 Decimeter Höhe eingefasst sind. Diese Abtheilungen nun werden mit Stroh belegt und darauf so viel flache Schüsseln mit Wasser gesetzt, als eben Platz haben. Während des Nachts bildet sich das Eis auf der Oberfläche des Wassers.

Diese Eisbildung ist nur eine Folge der Abkühlung, welche das, nach Leslie's Versuchen mit einem starken Ausstrahlungsvermögen begabte Wasser, durch die nächtliche Strahlung erleidet, während das Stroh als schlechter Wärmeleiter die Zuführung der Wärme vom Boden verhindert.

Dass hier die Eisbildung nicht, wie man früher glaubte, von der Verdampfung des Wassers herrührt, geht daraus hervor, dass ein etwas lebhafter Wind, welcher doch die Verdampfung begünstigt, das Gefrieren des Wassers in den Schüsseln verhindert.

Alles, was die freie Strahlung gegen den Himmelsraum hindert, hindert auch die Abkühlung des Bodens und der ihn bedeckenden Gegenstände. Wells spannte ein quadratisches baumwollenes Tuch von 2 Fuss Seitenlänge mittelst 4 Holzstäbchen 6 Zoll über dem Rasen in horizontaler Richtung aus. Unter diesem Tuche fand Wells die Temperatur des Rasens oft bis zu 6° C. höher als an benachbarten nicht geschützten Stellen.

Eine ähnliche Rolle, wie hier das Tuch, spielen die Wolken, welche das Himmelsgewölbe überziehen. In einer heitern Nacht war das Gras einer Wiese bereits 6,7° C. kälter als die Luft geworden, als sich Wolken bildeten; sogleich stieg die Temperatur des Grases wieder und zwar stieg sie um 5,6° C., ohne dass die Lufttemperatur sich geändert hätte.

Wie das Gras verhält sich auch die Oberfläche des Schnees. Am 30. December 1869 Nachmittags 4^h 30′ fand ich bei vollkommen heiterem Himmel die Temperatur

der Schneeoberfläche	— 13,7° C.
der Luft 4 Fuss über dem Boden . . .	— 9,1° C.

die Oberfläche des Schnees war also um 4,6° C. kälter als die Luft.

Wenn in heiteren Nächten die Lufttemperatur um 2 bis 4° C. über dem Gefrierpunkt ist, wie dies im April und Mai bei uns öfters vorkommt, so können die jungen zarten Blätter und Keime durch die nächtliche Strahlung leicht unter den Gefrierpunkt erkaltet werden, so dass sie, was bei bedecktem Himmel nicht zu fürchten ist, erfrieren, ohne dass das Thermometer auf Null fällt.

Wenn die Lufttemperatur nicht selbst unter den Gefrierpunkt fällt, ist ein Erfrieren der jungen Triebe nur dann zu fürchten, wenn bei heiterem Himmel die Luft vollkommen ruhig ist, oder an Orten, welche vor dem Winde geschützt sind. So kommt es z. B. öfters vor, dass die Reben an vertieften Stellen, etwa in alten Festungsgräben, erfrieren,

während sie dicht daneben auf Hügeln unversehrt bleiben. In der Nähe von Freiburg habe ich beobachtet, dass neben der sich 3 bis 4 Fuss über die Umgebung erhebenden Chaussee die aus dem Boden kommenden, also unter dem Niveau der Chaussee befindlichen Wurzeltriebe junger Nussbäume total erfroren waren, während das Laub der Kronen dieser Bäumchen nicht im mindesten vom Frost gelitten hatte.

Solche Nachtfröste können in Deutschland und Frankreich noch bis zur Mitte Mai (Pancratius und Servatius, 12. und 13. Mai) gefährlich werden, und deshalb fürchtet der Gärtner den Stierneu, d. h. die Zeit, in welcher der Neumond nahezu mit dem Eintritt des Mondes in das Zeichen des Stiers zusammenfällt.

Man hat diese Maifröste mit dem Umstand in Verbindung gebracht, dass das Steigen der Temperatur im Mai keineswegs ein gleichförmiges, sondern dass es durch Rückfälle unterbrochen ist, welche sich, wie wir bereits in §. 168 gesehen haben, auch noch in vieljährigen Mitteln geltend machen. Solche Rückfälle sind aber keineswegs dem Mai eigenthümlich, sie kommen in gleicher Weise in allen Monaten des Jahres vor.

188 **Temperatur des Bodens.** Wir haben bisher nur die Temperatur der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenschichten besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden sein kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter, steiniger oder sandiger Boden wird durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit heisser, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikanischen Wüsten steigt die Hitze des Sandes oft auf 50^0 bis 60^0 C. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenstrahlen ihn nicht direct treffen können, die Pflanzen selbst binden gewissermaassen eine grosse Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Wasser verdunstet; sie erkalten aber, wie wir gesehen haben, bei ihrem grossen Emissionsvermögen durch Ausstrahlung der Wärme so stark, dass die Temperatur des Grases oft 7 bis 9 Grad unter die der Luft sinkt. Im Inneren der Wälder ist die Luft beständig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieselbe Weise abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft sich niedersenkt.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der obersten Bodenschichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, so verlieren die tieferen Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturschwankungen weit geringer sein als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden schon bei einer Tiefe von 2 Fuss die täglichen Temperaturschwankungen, und in einer noch grösseren Tiefe verschwinden sogar die jährlichen Variationen, so

dass hier stets dieselbe Temperatur herrscht, welche aber keineswegs überall mit der mittleren Temperatur des Ortes genau übereinstimmt.

Seit 1671 hatte Giov. Cassini bemerkt, dass die Temperatur der Keller des Observatoriums zu Paris während des ganzen Jahres sich nicht ändert. Im Jahre 1730 machte Lahire dieselbe Beobachtung. Der Graf Jean Cassini, Urenkel des obigen, übersah zuerst die grosse Wichtigkeit dieser Erscheinung; im Jahre 1771 fing er an, sie durch eine Reihe von Versuchen näher zu untersuchen und im Jahre 1783 stellte er gemeinschaftlich mit Lavoisier in den Kellern des Observatoriums einen sehr empfindlichen Apparat auf, welcher entscheidende Resultate liefern musste. Dieser Apparat, welcher noch jetzt daselbst aufgestellt ist, hat folgende Einrichtung.

Auf dem Boden des Kellers, in einer Tiefe von 27,6 Metern, erhebt sich ein massiver Steinblock von 1,3 Meter Höhe, auf welchem ein mit feinem Sande gefülltes Glasgefäss steht; in diesem Sande steckt die Kugel eines Thermometers, dessen Theilung auf Glas geätzt ist. Das Thermometer ist von Lavoisier selbst construirt und mit wohl gereinigtem Quecksilber gefüllt; seine Kugel hat 7 Centimeter im Durchmesser, und die Röhre ist sehr fein, so dass ein Grad eine Länge von ungefähr 95 Millimetern einnimmt, dass also $^1/_{100}$ Grad noch fast eine Länge von 1 Millimeter hat; man kann demnach noch die Hälfte von $^1/_{100}$ Grad ablesen. Das Thermometer geht nur bis auf 16° C., es hat aber oben ein kleines Behälter, in welches das Quecksilber hineinsteigen kann, wenn etwa die Temperatur über 16° C. steigen sollte.

Dieses Thermometer zeigt nun eine constante Temperatur von 11,82° C., und diese Temperatur hat sich seit einem halben Jahrhundert nicht geändert.

Die Tiefe, in welcher die jährlichen Temperaturschwankungen verschwinden, ist nicht in allen Gegenden dieselbe; sie hängt von der Leitungsfähigkeit des Bodens, vorzüglich aber auch von der Grösse des Temperaturunterschiedes der heissesten und kältesten Jahreszeit ab. In der heissen Zone Amerikas fand Boussingault schon in einer Tiefe von 5 bis 6 Decimetern eine constante Temperatur, weil hier die Wärme ziemlich gleichförmig über die verschiedenen Zeiten des Jahres verbreitet ist.

Wie mit zunehmender Tiefe die jährlichen Veränderungen der Temperatur abnehmen, ersieht man aus folgenden Resultaten, welche die zu Brüssel in dieser Beziehung von 1834 bis 1837 angestellten Versuche geliefert haben.

Tiefe.	Schwankungen der Temperatur im Laufe eines Jahres.
0,19^m	13,28° C.
0,45	12,44
0,75	11,35
1,00	10,58
1,95	7,59
3,90	4,49
7,80	1,13

Vergleicht man die Beobachtungen von Paris, Strassburg, Zürich und Brüssel, so ergiebt sich, dass die jährlichen Schwankungen ungefähr in einer Tiefe von 24 Metern verschwinden.

Da die Wärme nur allmälig von der Oberfläche in die Tiefe eindringt, so ist klar, dass in der Tiefe das Maximum der Temperatur später erreicht wird als in der Atmosphäre, wie dies auch folgende von Forbes in Edinburgh in verschiedenen Bodenarten angestellte Versuche bestätigen.

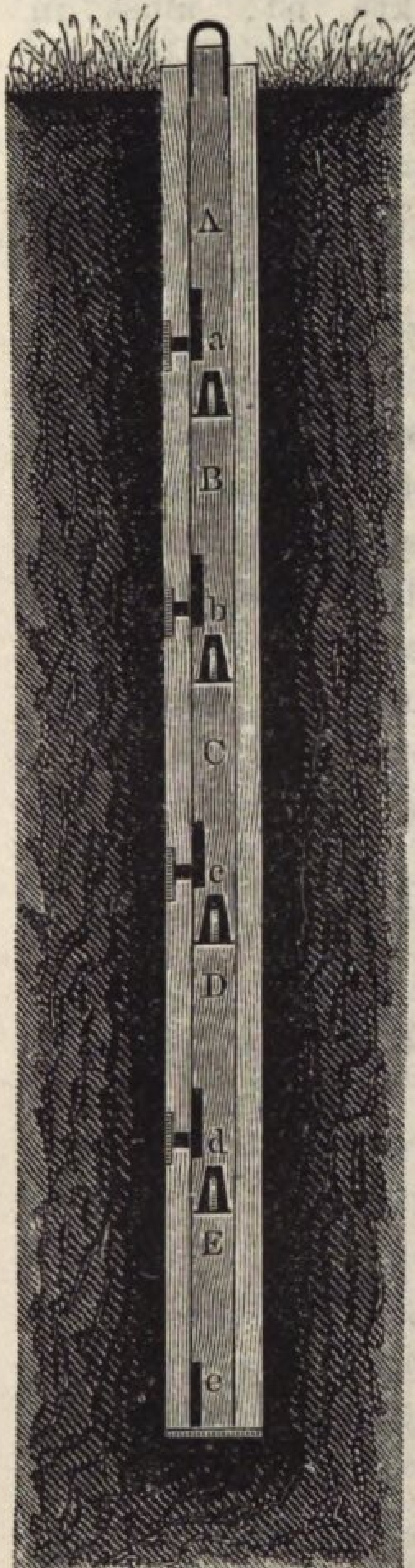
Bodenart.	Jährl. Temperaturschwankung in einer Tiefe von				Zeitpunkt des Temperaturmaximums in einer Tiefe von			
	1^m	1,9^m	3,9^m	7,8^m	1^m	1,9^m	3,9^m	7,8^m
Trapp . .	10,53° C.	6,61°	3,5°	0,80°	6. Aug.	2. Sept.	17. Oct.	8. Jan.
Sand . . .	11,23	8,30	4,19	1,16	31. Juli	24. Aug.	7. Oct.	30. Dec.
Sandstein .	9,58	7,72	5,22	2,28	5. Aug.	19. Aug.	11. Sept.	11. Nov.

Aus diesen Versuchen ergiebt sich nun auch, wie ungleich die Leitungsfähigkeit verschiedener Fels- und Bodenarten für die Wärme ist. Trapp (Dolerit) besitzt unter den drei genannten das geringste, Sandstein das beste Leitungsvermögen. In gleicher Tiefe sind im Sandstein die Schwankungen der Temperatur nicht allein grösser, sondern das Maximum der Temperatur stellt sich auch früher ein als im Sand und Dolerit.

Um die Temperatur des Bodens bis zu einer Tiefe von 20 Fuss zu beobachten, hat Lamont die durch Fig. 281 erläuterte Vorrichtung construirt. In den Boden ist ein 21 Fuss langes hölzernes Rohr von fast quadratischem Querschnitt (2,75″ im Lichten) eingegraben, welches unten durch eine Kupferplatte geschlossen ist. In die Höhlung dieser Holzröhre passen fünf Holzstäbe, *A*, *B*, *C*, *D* und *E*. *E* ist 3 Fuss, *A* ist

5 Fuss, jeder der drei übrigen ist 4 Fuss lang. Jeder dieser fast quadratischen Stäbe ist oben mit einem eisernen Bügel versehen, welcher in eine Höhlung des auf ihm aufsitzenden Stabes hineinragt. An der einen Seite ist in jedem dieser Stäbe eine Rinne angebracht (*a*, *b*, *c*, *d* und *e*), in welcher ein in Zehntel Grade getheiltes Thermometer mit **grossem** Gefässe befestigt ist. Der Thermometerkugel gegenüber ist, um die freie Mittheilung der Wärme zu vermitteln, die Wand des Holzrohres durchbohrt und die Oeffnung aussen mit einer Kupferplatte geschlossen.

Fig. 281.



Das Thermometer *a* ist 4, *b* ist 8, *c* ist 12, *d* ist 16 und *e* ist 20 Fuss tief unter der Oberfläche des Bodens. Um eine Beobachtung zu machen wird zuerst *A* hervorgezogen und das Thermometer bei *a* rasch abgelesen, ehe sich noch sein Stand ändern kann. Dann wird *B* mittelst eines an einer Schnur befestigten Hakens hervorgezogen, welcher in dem am oberen Ende von *B* angebrachten Bügel eingreift, und dann rasch die Ablesung des Thermometers *b* vorgenommen u. s. w.

Zu Bogenhausen sind zwei solche Röhren dicht neben einander nordwestlich, zwei andere aber südöstlich von der Sternwarte angebracht. Die Ablesung wird daselbst einmal wöchentlich und zwar am Mittwoch vorgenommen.

Aehnliche Vorrichtungen hat **Lamont** construirt, um die Bodentemperatur bis zu 4 Fuss Tiefe zu ermitteln.

Fig. 282 (a. f. S.) stellt nach **Lamont's** Beobachtungen zu Bogenhausen die jährliche Curve der Bodentemperatur für eine Tiefe von 4, 12 und 20 Fuss dar. Die Figur zeigt deutlich, wie die Grösse der Temperaturschwankungen mit der Tiefe abnimmt und wie das jährliche Maximum und Minimum der Temperatur um so später eintritt, je weiter man in die Tiefe geht. So fällt z. B. in einer Tiefe von 20 Fuss das Minimum der Temperatur (ungefähr 6,4^0 R.) auf den Mai, das Maximum (8^0 R.) auf den Anfang November.

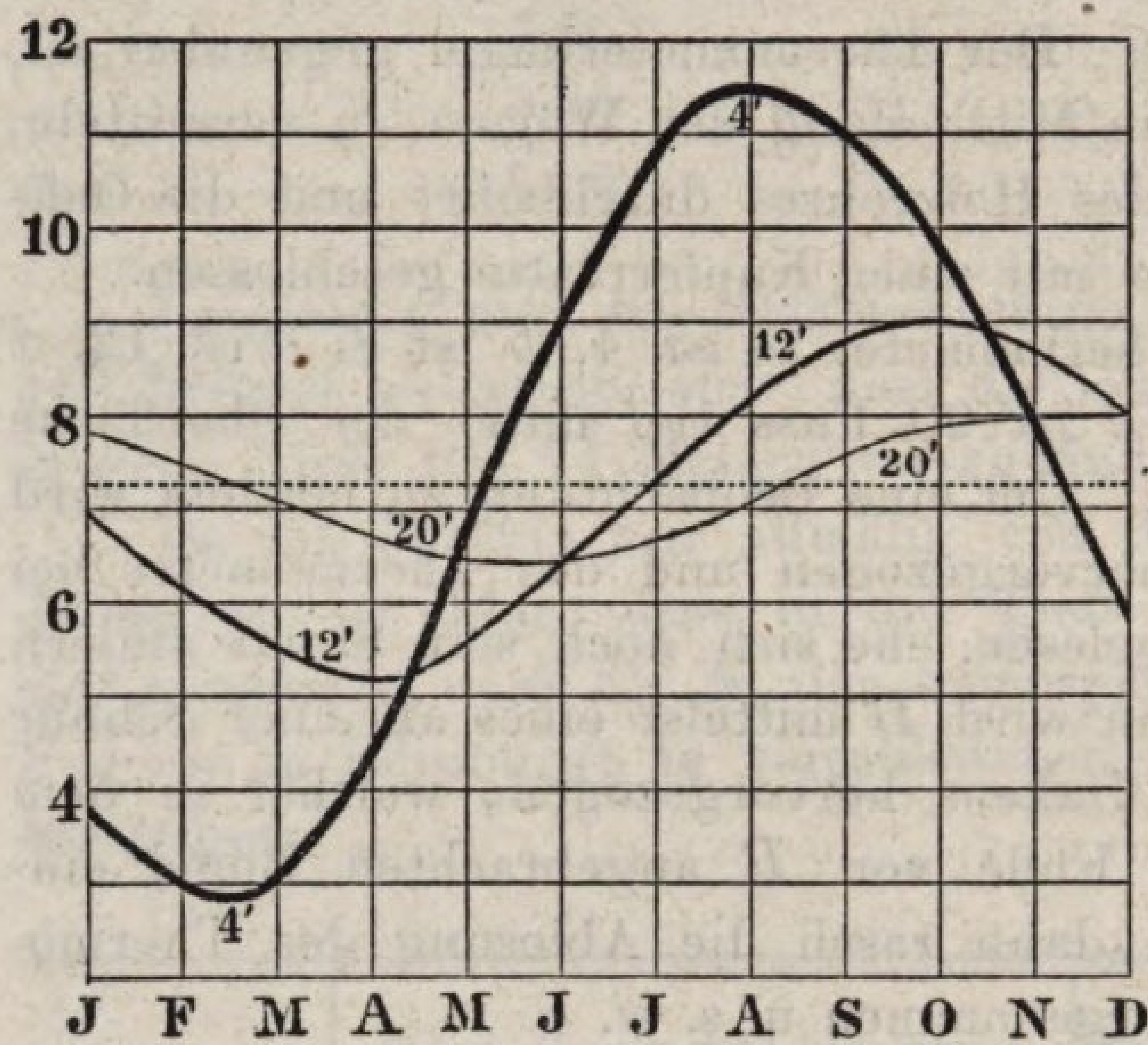
Das Jahresmittel der Temperatur ist für die verschiedenen Tiefen der **Lamont'schen** Beobachtungen nahezu dasselbe, nämlich 7,2, also nahe gleich der mittleren Lufttemperatur für München.

Wie die Lufttemperatur in einzelnen Jahren bald mehr, bald weniger von dem normalen Gange abweicht, so ist dies auch bei der Bodentemperatur der Fall, nur sind die Abweichungen in der Tiefe geringer. In den Jahren 1861, 1862 und 1863 war die Bodentemperatur fast

durchgängig höher, in den Jahren 1864 und 1865 aber stets tiefer als nach dem aus den fünf Beobachtungsjahren von 1861 bis 1866 abgeleiteten normalen Gange.

In solchen Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter dem Gefrierpunkte ist, muss in einer bestimmten Tiefe der Boden stets gefroren sein. So ist z. B. zu Jakutzk, dessen mittlere Jahrestemperatur — 9,7° C. ist, wie schon oben erwähnt wurde, trotz der bedeutenden Sommerwärme in einiger Tiefe der Boden beständig gefroren. In der Hoffnung, Wasser zu finden, legte Ermann hier einen Brunnen an, fand aber in einer Tiefe von 50 Fuss noch eine Temperatur von — 7,5° C.; dieser Brunnen wurde später durch Schergin bis auf 358 Fuss vertieft. Folgendes sind die Temperaturen des Bodens in verschiedenen Tiefen:

Fig. 282.



15,2m	— 7,5° C.
23,5	— 6,9
36,3	— 5,0
116,5	— 0,6

Wenn man von der Bodentemperatur eines Ortes spricht, so versteht man darunter die Temperatur des Bodens in einer Tiefe, in welcher eben die jährlichen Variationen verschwinden. Solche Curven, welche die Orte gleicher Bodenwärme mit einander verbinden, werden Isogeothermen genannt. Tab. XVI stellt den Lauf der Isogeothermen neben dem der Jahresisothermen dar. Die Jahresisothermen sind stark ausgezogene mit arabischen Ziffern bezeichnete Curven, während die Isogeothermen feiner gezogen und durch römische Zahlen bezeichnet sind. Zwischen den Jahresisothermen von 12° und 16° R. ist die Bodentemperatur sehr nahe dem Jahresmittel der Lufttemperatur gleich, innerhalb der Tropen ist die Bodentemperatur niedriger, in kälteren Gegenden ist sie höher als das Jahresmittel der Lufttemperatur. So sieht man auf Tab. XVI, dass die Isogeotherme von 4° R. für einen grossen Theil ihres Laufes der Isotherme von 0° nahe liegt und dieselbe in zwei Stellen schneidet.

Um den Lauf der Isogeothermen zu bestimmen, musste Kämtz we-

gen Mangels an unmittelbaren Beobachtungen der Bodentemperatur zu Quellentemperaturen seine Zuflucht nehmen.

Nach den Beobachtungen von Schlagintweit befindet sich die Isogeotherme von 0° in der Tauernkette (höchster Gipfel des Gross Glockner, etwas über 12 000 Fuss) in einer Höhe von 10 400 Fuss, wo das Jahresmittel der Lufttemperatur ungefähr — 5,6° R. beträgt.

Innere Erdwärme. Wenn man in der Erdoberfläche über den 189
Punkt hinab vordringt, in welchem die jährlichen Temperaturschwankungen verschwinden, so findet man eine mit wachsender Tiefe stets zunehmende Temperatur. In Bergwerken war diese Erscheinung schon lange bemerkt worden, ehe man noch regelmässige Beobachtungen darüber anstellte; die Bergleute wussten, dass in der Tiefe nicht allein die Temperaturveränderungen nicht mehr fühlbar sind, sondern dass es daselbst auch ausserordentlich warm ist.

Saussure fand zu Bex im Canton Waadt in einem Schachte, welcher seit drei Monaten von Niemandem befahren worden war, eine Temperatur von

14,4° C.	in einer Tiefe von	312 Fuss
15,6	„ „ „ „	550 „
17,4	„ „ „ „	660 „

Später wurden ähnliche Messungen in den Bergwerken der verschiedensten Gegenden angestellt, und alle führten zu dem gleichen Resultate, wenn sich auch nicht an allen Orten das gleiche Gesetz der Wärmezunahme herausstellte. Die in dieser Beziehung gefundenen Ungleichheiten sind aber sehr erklärlich, wenn man bedenkt, dass die verschiedenen Felsmassen, in welchen die Schachte angelegt sind, nicht gleich gute Wärmeleiter sind, dass es nicht gleichgültig sein kann, ob man von der Höhe eines Berges, von der Sohle eines Thales oder von der Ebene aus niedergeht, dass die Tagwasser, welche in den Boden einsinken, mehr oder weniger störend auf die Regelmässigkeit der Wärmezunahme einwirken müssen.

Wie in Schachten, so beobachtet man auch in Bohrlöchern eine mit der Tiefe stets wachsende Temperatur. Magnus fand z. B. in einem Bohrloch bei Rüdersdorf in der Mark Brandenburg, welches bis zu 730 Fuss unter den Meeresspiegel hinabreicht, folgende Temperaturen:

10,625° C.	in einer Tiefe von	60′
11,875	„ „ „ „	200
14,212	„ „ „ „	400
17,250	„ „ „ „	680

In dem Bohrloche des artesischen Brunnens zu Grenelle bei Paris fand man in einer Tiefe von 1650 Fuss die Temperatur von 27,7° C., in

dem zu Neusalzwerk in Westphalen in einer Tiefe von 2050 Fuss eine Temperatur von 32,75° C.

Im Durchschnitt entspricht ein Tiefergehen von 90 bis 100 Fuss einer Temperaturerhöhung von 1° C. Vorausgesetzt, dass bei weiterem Eindringen in die Erdrinde die Temperatur nach dem gleichen Gesetze zunähme, müsste man bereits in einer Tiefe von 10 000 Fuss die Temperatur des siedenden Wassers finden, und in einer Tiefe von ungefähr fünf geographischen Meilen müsste eine Hitze herrschen, bei welcher Gusseisen und Basalt flüssig sind.

Alle in diesem Paragraphen besprochenen Thatsachen deuten somit darauf hin, dass sich das Innere der Erde in feurig-flüssigem Zustande befinde. Dieser glühende Erdkern wird von einer erstarrten Hülle von verhältnissmässig geringer Dicke, der festen Erdrinde, eingeschlossen, deren Leitungsfähigkeit so gering ist, dass die eigene Wärme des Erdkörpers auf der Oberfläche desselben nicht mehr merklich und sein Inneres vor fernerer Erkaltung geschützt ist.

Nur bei vulcanischen Ausbrüchen und in heissen Quellen dringt die innere Erdwärme noch bis zur Oberfläche der Erde hervor.

Der Umstand, dass die Erde eine der gegenwärtigen Lage ihrer Umdrehungsaxe und der gegenwärtigen Umdrehungsgeschwindigkeit entsprechende Abplattung hat (siehe Seite 69), beweist, dass der ganze Erdkörper früher im flüssigen Zustande war, und aus geologischen Untersuchungen geht hervor, dass dies nur ein feurig-flüssiger Zustand gewesen sein könne. In jener Periode des feurig-flüssigen Zustandes waren also Axenlage und Umdrehungsgeschwindigkeit dieselben wie jetzt.

Allmälig erstarrte die Erdoberfläche, aber noch lange, während die feste Erdrinde nach und nach an Dicke zunahm, war die innere Erdwärme auf ihrer Oberfläche merklich, wie aus den Pflanzenpetrefacten früherer Schöpfungsperioden hervorgeht.

Die paläozoischen Gebilde, denen auch die Steinkohlenlager angehören, zeigen eine auffallende Gleichförmigkeit in ihrer Ausbreitung über die Erde. In Europa und Asien, in Amerika und Australien, am Cap der guten Hoffnung wie in Grönland, kurz vom 75. Grade nördlicher bis zum 50. Grade südlicher Breite enthalten sie, wenn auch nicht immer ganz die gleichen, doch stets analoge Arten, deren Aehnlichkeit auf gleiche physikalische Verhältnisse schliessen lässt, unter denen sie lebten.

Eine besonders hervorragende Rolle spielen in der Steinkohlenflora die Farn, welche, oft die Höhe mässiger Bäume erreichend, fast die Hälfte aller Pflanzenarten jener Periode bilden. Gegenwärtig finden sich die baumartigen Farn nur noch in den Tropengegenden und zwar vorzugsweise auf Inseln. Auf den tropischen Inseln Westindiens bilden die Farn $^1/_{10}$, auf Neuseeland $^1/_6$, auf Tahiti $^1/_4$, auf St. Helena sogar $^1/_2$ der gesammten Vegetation. Danach aber ist man berechtigt, die Flora der Steinkohlenzeit als eine Inselflora mit tropischer Wärme zu be-

zeichnen. In der Steinkohlenperiode war also eine tropische Wärme mit enormer Feuchtigkeit über die ganze Erde verbreitet.

Dass in jenen Zeiten überhaupt eine höhere Temperatur auf der Erdoberfläche herrschte, erklärt sich dadurch, dass die erkaltete feste Erdrinde bei weitem noch nicht die Dicke hatte wie gegenwärtig. In der Steinkohlenperiode konnte die Dicke der festen Erdrinde höchstens 1000 Meter betragen, und in einer Tiefe von 100 Metern herrschte bereits die Temperatur des siedenden Wassers, was gegen jetzt eine directe Temperaturerhöhung der Climata um ungefähr $1^1/_2$ Grad auf der Erdoberfläche zur Folge haben musste. Die gleichförmigere Verbreitung der Wärme auf der Erdoberfläche wurde aber in der Steinkohlenperiode durch die Meere vermittelt, welche noch nicht wie heutzutage durch bedeutende Continente unterbrochen, durch mächtige Strömungen die Wärme der Aequatorialzone weit ungehinderter den höheren Breiten zuführen und ihren mildernden Einfluss weit mehr geltend machen konnten als jetzt.

Dazu kommt noch, dass bei dem massenhaften Zuströmen warmen Wassers gegen die Pole hin bedeutende Nebel und Wolkenmassen sich bilden mussten, welche die Polargegenden wie eine schützende Hülle umgaben und die erkaltende Wirkung der nächtlichen Strahlung hinderten.

Zur paläozoischen Zeit war die Temperatur der Aequatorialzone wahrscheinlich nicht viel höher als jetzt, während in höheren Breiten auf den von warmem Wasser umspülten Inseln sich eine tropische Flora entwickeln konnte.

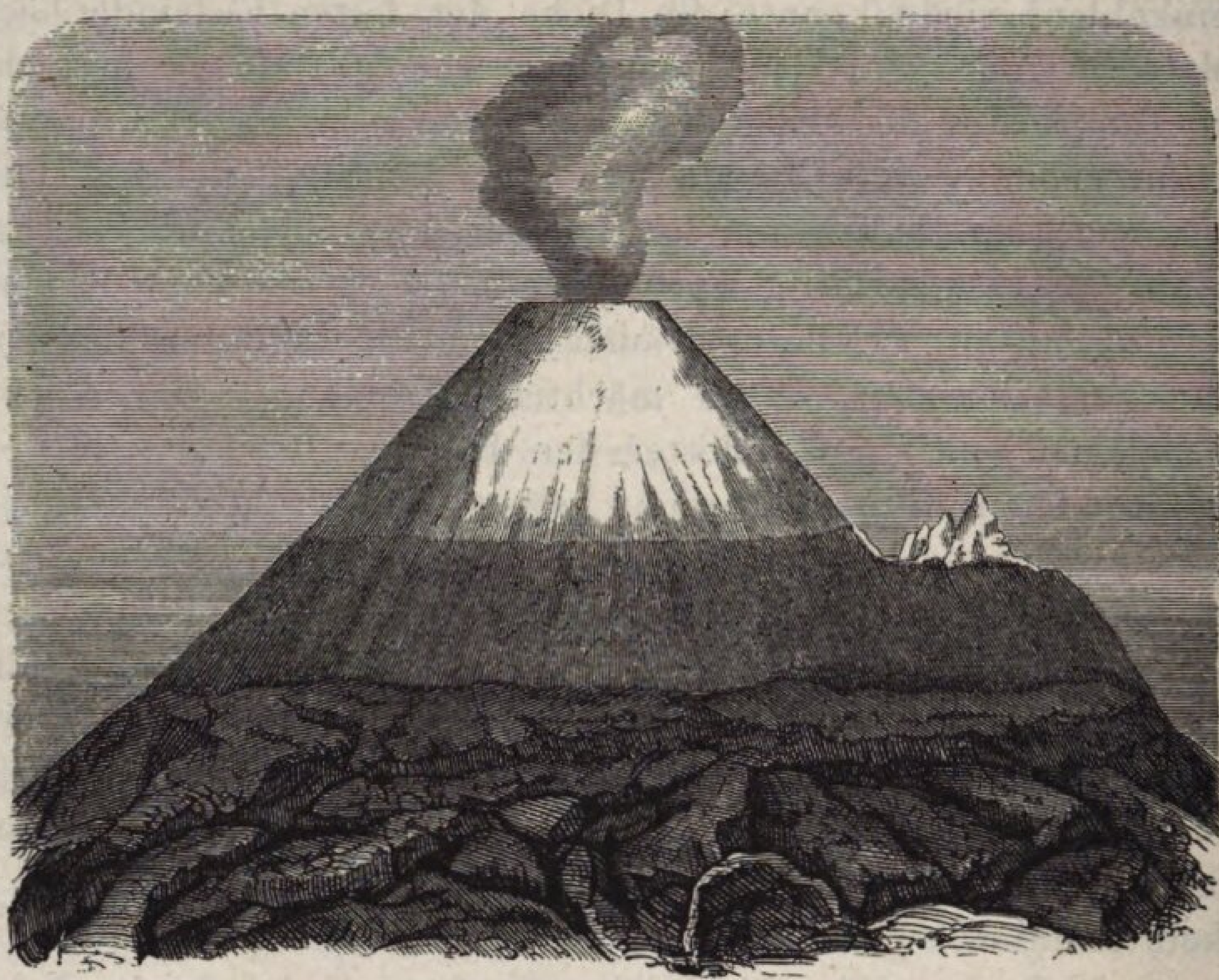
Gegenwärtig ist die schlechtleitende feste Erdrinde so dick, dass keine merkliche Erkaltung des Erdkernes mehr stattfinden kann, und dass Gleichgewicht stattfindet zwischen der Wärmemenge, welche die Erdoberfläche von der Sonne empfängt, und derjenigen, welche sie wieder gegen den Himmelsraum ausstrahlt.

Vulcane. In verschiedenen Gegenden der Erde findet man Berge 190
von mehr oder weniger kegelförmiger Gestalt, auf deren Gipfel sich eine trichterförmige Vertiefung, der Krater, befindet. Dieser Krater hat meist eine kreisrunde Gestalt und der Kegel, welcher ihn trägt, besteht grösstentheils aus aufgeschütteten Materialien, weshalb er als Aschenkegel bezeichnet wird. Als besonders charakteristische Beispiele solcher Kraterberge, welche man als Vulcane bezeichnet, mag der Cotopaxi in Südamerika, Fig. 283, und der Vulcan der Insel Barren im Golf von Bengalen, Fig. 284 (a. f. S.), dienen.

Eine Erscheinung, welche derartigen Bergen ein besonderes Interesse verleiht, sind die vulcanischen Ausbrüche oder Eruptionen, welche nach mehr oder minder langen Perioden der Ruhe stattfinden und deren normaler Verlauf im Wesentlichen folgender ist: Nach vorausgegangenem unterirdischem Getöse, welches von einer Erschütterung des Bodens begleitet ist, entsteigen dem Krater ungeheure Massen von Wasserdampf, während zugleich ein Auswurf von erdigen, steinigen, zermalmten und

zerriebenen Massen, sogenannter vulcanischer Asche, stattfindet. Häufig sind diese Erscheinungen noch von dem Hervorbrechen geschmolzener Gesteinsmassen, der Lava, begleitet, welche, meist aus seitlichen Spalten hervorquellend, an dem Abhange des Berges herabfliessen.

Fig. 283.



In solchen Fällen, wo man, z. B. wie auf Stromboli, selbst während der Eruption, in den Krater hinabsehen kann, erblickt man denselben zum Theil mit geschmolzener rothglühender Lava erfüllt. Mächtige Dampf- und Gasblasen steigen durch die zähflüssige Masse in die Höhe,

Fig. 284.



platzen mit einem puffenden Geräusch und lassen dicke weisse Dampfwolken austreten, welche glühende Lavafetzen mitreissen. Im Krater Kiraueа auf Hawai befinden sich glühende Lavaseen von 500 Meter

Durchmesser, welche, beständig auf- und niederwogend, eine förmliche Brandung an den Kraterwänden erzeugen.

Die dem Krater entsteigenden Dämpfe breiten sich über demselben zu einer mächtigen Wolke aus, welcher unter Blitz und Donner ein wolkenbruchartiger Regen entströmt, der in der Umgebung oft mehr Schaden anrichtet als die von dem Berge ausgeworfenen Schlackenmassen.

Die beim Platzen der Dampfblasen in die Höhe geschleuderten Schlacken bilden eine glühende Garbe, welche der pinienförmig ausgebreiteten Wolke gleichsam als Stamm dient. Dazu kommt noch, dass die aufsteigenden Dämpfe durch die glühende Lava des Kraters erleuchtet, gleichfalls wie eine Feuersäule erscheinen.

Eigentliche Flammen brechen aus dem Krater nicht hervor.

Es ist hier nicht der Ort zu einer ausführlicheren Besprechung vulcanischer Eruptionen, welche mehr in das Gebiet der Geologie gehört; wir verweisen in dieser Beziehung auf Vogt's Lehrbuch der Geologie, Braunschweig 1871, welchem wir auch in der obigen Darstellung gefolgt sind. Hier kommen die vulcanischen Erscheinungen nur als Beispiele der Reaction in Betracht, welche der innere flüssige Kern der Erde auf ihre äussere Rinde und Oberfläche ausübt.

Während der Eruption steht der Krater des Vulcans offenbar durch einen Canal mit dem Inneren der Erde in Verbindung. In diesen Canal wird die flüssige Lavamasse durch den Druck gespannter Gase und Dämpfe gehoben, welche endlich in Form von Blasen durch die geschmolzene Masse hindurch ihren Ausweg in die Atmosphäre finden.

Die meisten Vulcane bieten abwechselnd Perioden der Ruhe und der Thätigkeit dar, und es scheint, dass die Intensität der Ausbrüche einigermaassen im umgekehrten Verhältniss zur Häufigkeit derselben steht. Die heftigsten Ausbrüche finden stets nach einer längeren Periode der Ruhe Statt. Den Vesuv betrachteten die Alten für einen ausgebrannten Vulcan, bis der pompejanische Ausbruch seine Thätigkeit mit einer Eruption wieder eröffnete, welche bis jetzt ihres Gleichen an Furchtbarkeit kaum wieder gehabt hat.

Auch die Höhe der Vulcane scheint mit der Häufigkeit der Ausbrüche in einiger Beziehung zu stehen, indem bei niedrigen Vulcanen die Ausbrüche meistens häufiger sind als bei höheren. Die Eruptionen des 925 Meter hohen Stromboli finden täglich, ja fast stündlich Statt. Bei dem 1200 Meter hohen Vesuv vergeht fast kein Jahr ohne Ausbruch. Längere Intervalle bietet der 3400 Meter hohe Aetna, und der 5963 Meter hohe Cotopaxi zeigt durchschnittlich in einem Jahrhundert nur eine Eruption.

Erdbeben, Erderschütterungen, ähnlich denen, welche wir bereits 191
als ein vulcanische Ausbrüche begleitendes Phänomen kennen lernten, treten hier und da mit einer Heftigkeit auf, welche die furchtbarsten Verheerungen anzurichten im Stande ist, wie dies unter anderen folgende Beispiele darthun.

Nachdem Lima schon im Jahre 1682 durch eine Erderschütterung zerstört worden war, wurde die unglückliche Stadt am 28. October 1746 abermals durch ein Erdbeben heimgesucht. In wenigen Minuten wurden 11 Kirchen, 38 Klöster und 4000 Häuser umgestürzt und in einen Trümmerhaufen verwandelt. Von den 53 000 Einwohnern retteten verhältnissmässig wenige ihr Leben.

Durch das Erdbeben, welches am 1. November 1755 in Lissabon stattfand, wurden ausser anderen Gebäuden allein 32 der grössten Kirchen umgestürzt und 30 000 Menschen unter den Trümmern begraben.

In den Monaten Februar und März des Jahres 1783 wurden Calabrien und Sicilien fast täglich durch heftige Erdstösse erschüttert, deren erster am 5. Februar Messina zerstörte. In jener Unglücksperiode wurden in den genannten Gegenden 400 Städte und Dörfer zerstört, wobei im Ganzen 100 000 Menschen umgekommen sein sollen.

Die Stadt Carracas wurde in den Jahren 1766, 1797 und 1812 durch Erdbeben verwüstet; Sicilien wurde 1818 abermals durch ein Erdbeben heimgesucht, welches namentlich die Stadt Catanea zerstörte. Im Jahre 1822 fanden heftige Erdbeben in Syrien und in Chili Statt etc.

Wohl jedes Jahrhundert hat eine Anzahl heftiger Erdbeben aufzuweisen, während kein Jahr vergeht, an welchem nicht an verschiedenen Orten der Erde schwächere Erdbeben vorkommen.

Man hat beinahe ohne Ausnahme bemerkt, dass die heftigsten Erdbeben zugleich die kürzesten sind; die verheerendsten Stösse sind gewöhnlich nur das Werk weniger Augenblicke. Lissabon wurde im Jahre 1755 durch drei Stösse zerstört, welche in einem Zeitraum von 6 Minuten auf einander folgten. Messina wurde im Jahre 1783 durch zwei und Carracas im Jahre 1812 durch drei Stösse zerstört, welche letztere innerhalb einer Minute stattfanden.

Jenen Hauptstössen folgen gewöhnlich andere, minder heftige Bewegungen, welche sich Wochen, ja Monate lang wiederholen. So wurden die Bewohner von Lissabon nach der erwähnten Katastrophe noch ein Jahr lang durch stets wiederkehrende Erdstösse in Furcht und Schrecken erhalten, und nach dem Erdbeben, welches im Jahre 1783 Messina zerstörte, war der Boden in Calabrien noch sechs Jahre hindurch in beständiger Aufregung.

Im Centralpunkte eines Erdbebens erleidet der Boden zunächst heftige Stösse in verticaler Richtung, welche oft noch mit Bewegungen in horizontaler Richtung combinirt erscheinen. So soll z. B. im Jahre 1783 der Erdboden in Calabrien während der Erdstösse in einer Bewegung gewesen sein, wie Sand, welcher auf einen Tisch gestreut ist, der von unten gestossen und zugleich in horizontaler Richtung hin und her gerüttelt wird. Menschen und Wohnungen wurden durch die Erdstösse in die Höhe geschleudert, um in einiger Entfernung wieder nieder zu fallen.

Aehnliche Erscheinungen werden auch von dem Erdbeben zu Riobamba (1797) berichtet.

Von dem Orte aus, welcher von den Hauptstössen eines Erdbebens getroffen wird, verbreitet sich die Erschütterung des Bodens, meist wellenartig sich ausbreitend, auf grössere Entfernungen hin. So wurde z. B. das Erdbeben von Lissabon wenigstens auf der ganzen pyrenäischen Halbinsel verspürt und der durch dasselbe veranlasste Wellenschlag im atlantischen Ocean verbreitete sich bis nach Westindien hin.

Das Erdbeben, welches am 15. Juli 1855 im Visper Thal (Canton Wallis) Häuser und Kirchen einstürzen machte, war noch in Genf, Neufchatel, Basel und Luzern stark genug, um leichte Beschädigungen an Gebäuden hervorzubringen und wurde überhaupt noch bis Genua, Valence, Dijon, Metz, Wetzlar, Koburg und Bregenz verspürt.

Am 20. März 1861 Abends 9 Uhr wurde zu Buenos Ayres am Pendel einer gerade still stehenden Uhr eine deutlich bemerkbare unregelmässige Bewegung beobachtet, während die Schwingungen eines in der Ebene von Nord nach Süd sich bewegenden Regulatorpendels, dessen gewöhnlicher Gang nur $2^1/_2$ Grad beträgt, bis auf 8 Grad wuchsen. Einige Tage später kam die Nachricht, dass an demselben Tage und zu derselben Stunde die 140 deutsche Meilen entfernte Stadt Mendoza durch ein Erdbeben zerstört worden sei.

Gleich der erste Stoss dieses Erdbebens war so stark, dass die einstöckigen Häuser der Stadt einstürzten und so plötzlich, dass Niemanden Zeit blieb ins Freie zu flüchten und alle Einwohner, welche gerade in ihren Wohnungen waren, erschlagen oder verschüttet wurden. Ungefähr 10000 Menschen, $^3/_4$ der ganzen Einwohnerschaft, kamen auf diese Weise um.

Durch starke Erdbeben werden nicht selten mehr oder weniger bedeutende Spalten im Boden erzeugt. So entstanden z. B. bei dem schon mehrfach erwähnten Erdbeben von Calabrien Erdspalten, welche über eine halbe Stunde lang, an 100 Fuss breit und ebenso tief waren. In einzelnen Fällen zeigten die beiden Lippen solcher Spalten eine merkliche Höhendifferenz, so dass die eine oft 15 Fuss höher war als die andere, es musste also der Boden auf der einen Seite entweder gehoben oder auf der anderen gesenkt worden sein.

Nach dem Erdbeben von Chili am 20. Februar 1835 war die Oberfläche der Felsen auf der Insel Quiriquina bei Conception wie Glas zersplittert und in einen Trümmerhaufen verwandelt.

Bei dem Erdbeben von Riobamba entstanden Klüfte, die sich abwechselnd öffneten und wieder schlossen und in welchen ganze Züge von Reitern und beladenen Maulthieren verschwanden.

Die herrschende Ansicht über Ursprung und Wesen der Erdbeben geht dahin, sie als ein mit dem Vulcanismus in engster Beziehung stehendes Phänomen zu betrachten, sie also gleichsam einer Reaction des feurig-flüssigen Erdkernes gegen die ihn einhüllende feste Rinde zuzuschreiben. Dies ist denn auch der Grund, warum die Erdbeben gerade hier besprochen werden.

Wenn auch bedeutende Erdbeben in nicht vulcanischen Gegenden

vorkommen, so sind doch solche Länder, in welchen sich gewaltige Vulcane vorfinden, wie Unteritalien und Südamerika, vorzugsweise von Erdbeben heimgesucht, und die allgemeine Meinung des Volkes geht dahin, dass die vulcanischen Kamine gleichsam als Sicherheitsventile für die im Inneren der Erde wirkenden explosiven Gewalten zu betrachten seien.

Bei dem furchtbaren Erdbeben von Riobamba war dieser Zusammenhang besonders auffallend. Nachdem der Vulcan von Pasto Monate lang mächtige Rauchwolken ausgestossen hatte, verschwanden dieselben plötzlich am 2. Februar 1797. Im Augenblicke des Verschwindens ereignete sich das Erdbeben, dessen Mittelpunkt, Riobamba, in gerader Linie 60 Stunden von dem Vulcan entfernt ist.

Der Vesuv war vom Jahre 1751 an ganz besonders thätig gewesen, bis im Januar 1755 eine plötzliche Ruhe eintrat. Dieser Ruhe folgte eine ununterbrochene Reihe von Erdbeben. Im Februar wurden die griechischen Inseln sowie das Küstenland des Mittelmeeres, im Juni Persien, im August England und am 1. November endlich Lissabon und die pyrenäische Halbinsel erschüttert.

Es ist aus mannigfachen Gründen wahrscheinlich, dass in den trachytischen und doleritischen Massen der Cordilleren Südamerikas zahlreiche Höhlungen vorhanden sind; darauf gründet Boussingault die Ansicht, dass die Erdbeben jener Gegenden wenigstens zum Theil durch ruckweise Senkung oder durch das Herabstürzen schwach gestützter Felsmassen veranlasst würden.

Volger, welcher die Erscheinungen des Erdbebens von Visp im Jahre 1855 besonders gründlich studirt hat, tritt der Lehre vom vulcanischen Ursprung der Erdbeben entschieden entgegen und sucht sie auf eine allmälige Auflösung der Gesteine zurückzuführen.

Die atmosphärische Feuchtigkeit, welche kohlensäurehaltig in das Innere der Gebirge eindringt, nagt unaufhörlich an den Schichten, auf welchen sie rinnt; ganz besonders sind diesem Auslaugungsprocess der kohlensaure Kalk, namentlich aber der Gyps unterworfen. Durch die Quellen werden den Gebirgen enorme Massen von kohlensaurem Kalk und Gyps entführt.

Die Menge des kohlensauren Kalkes, welche der Rhein jährlich an der Stadt Basel vorüberführt, würde, als dichter Kalkstein berechnet, einen Würfel von 800 Fuss Seite darstellen, und diese Masse ist den Gebirgen der Schweiz entnommen.

Noch ungleich bedeutendere Massen werden durch zahlreiche warme Quellen den Gypslagern in Wallis entführt. Die Lorenzquelle allein entführt dem Gebirge jährlich eine Gypsmasse, welche als Gypsfelsen berechnet einen Raum von 60 000 Kubikfuss einnehmen würde; diese einzige Quelle muss also im Laufe eines Jahrhunderts einen Hohlraum zwischen den Gebirgsschichten erzeugen, welche bei einer Quadratmeile Flächeninhalt etwa $1/4$ Fuss Höhe haben müsste.

Derartige ununterbrochene unterirdische Auslaugungen müssen aber ein allmäliges Einsinken und Niederbrechen der oberen Schichten zur Folge haben, welches dann die unmittelbare Ursache des Erdbebens ist.

Die Erdbeben, von welchen Grossgerau (zwischen Mainz und Darmstadt) im letzten Jahre wiederholt heimgesucht wurde, bringt Mohr mit den zahlreichen Salzquellen in Verbindung, welche sich am Fusse des Taunusgebirges befinden (Wiesbaden, Soden, Homburg, Nauheim etc.). Durch diese Quellen werden unterirdische Salzlager ausgelaugt und auf diese Weise Höhlungen erzeugt, deren Einstürzen jene Erdbeben zur Folge haben.

Quellentemperatur. Das als Regen, Schnee, Thau u. s. w. aus **192**
der Atmosphäre auf den Boden gelangende Wasser kehrt theilweise durch Verdunstung wieder in die Luft zurück, theilweise wird es durch den Vegetationsprocess consumirt, ein sehr bedeutender Theil aber sickert in den Boden ein, um an tieferen Stellen als Quellen hervorzubrechen. Das Wasser sickert in einem lockeren Boden nieder, bis es auf eine Lehm- oder Felsenschicht gelangt, die ein weiteres Vordringen hindert; entweder wird es nun auf diesen mehr oder weniger geneigten Schichten fortfliessen, bis es am Ausgange derselben als Quelle erscheint, oder es folgt den Felsspalten und Klüften, auf welchen es endlich wieder einen Ausweg findet. Jedenfalls nimmt das Wasser allmälig die wenig veränderliche Temperatur der Erd- und Felsschichten an, mit denen es längere Zeit in Berührung steht, und so kommt es denn, dass die Temperatur der Quellen fast das ganze Jahr hindurch ziemlich constant bleibt, wenigstens wenn sie einigermaassen wasserreich sind. Die Temperaturschwankungen solcher Quellen betragen im Laufe eines Jahres höchstens 1 bis 2 Grad; ihre höchste Temperatur erreichen sie auf unserer Hemisphäre im September, ihre niedrigste im März.

Die mittlere Temperatur dieser Quellen ist, wie die der Erdschichten, aus welchen sie kommen, meist wenig von der mittleren Lufttemperatur des Ortes verschieden, an welchem sie hervorbrechen; in der Regel ist die Quellentemperatur etwas höher, und dieser Ueberschuss steigt in höheren Breiten, wie Wahlenberg gezeigt hat, auf 3 bis 4^0; dagegen machen es die Beobachtungen, welche in der heissen Zone gemacht wurden, wahrscheinlich, dass dort die mittlere Quellentemperatur etwas niedriger ist als die mittlere Lufttemperatur.

Es ist demnach klar, dass die Wärme der Quellen nicht allein nach den Polen hin, sondern auch mit der Erhebung über die Meeresfläche abnimmt, wie auch die folgenden Beispiele darthun.

Quelle zu:	Höhe über dem Meeresspiegel.	Temperatur.
Enontekis (Lappland)	1602 par. Fuss	1,7° C.
Umea (Schweden)	100 „ „	2,9
München	1540 „ „	9
Krün (Isarthal)	2520 „ „	7,5
Rigi Kaltbad	4404 „ „	6,3
Erste Isarquelle	5726 „ „	3,4
Hochthor (Pass zwischen Möll- u. Rauristhal)	8128 „ „	1,9
Im Stollen der Goldzeche (Bergwerk auf der grossen Fleuss im Möllthale)	8858 „ „	0,8

Die hier zusammengestellten Quellentemperaturen sind theils von Wahlenberg, theils von Schlagintweit beobachtet (Pogg. Ann. LXXVII).

Wenn das Wasser bis zu grösseren Tiefen unter die Erdoberfläche eindringt und dann auf Canäle trifft, in welchen es durch den hydrostatischen Druck wieder in die Höhe gehoben wird, so wird es aus der Tiefe auch eine sehr hohe Temperatur mitbringen, wie man sie in der That auch an solchen Quellen beobachtet, welche mit dem Namen der Thermen bezeichnet werden. In der folgenden Tabelle sind die Temperaturen einiger bekannteren Thermalquellen angegeben.

Pfäffers	37,2° C.	Baden-Baden	67,5° C.
Wildbad	37,5	Wiesbaden	70,0
Barrèges	40,0	Karlsbad	75,0
Aachen	44 bis 57,5	Burtscheid	77,5
Bath	46,25	Katharinenquellen im Kaukasus	88,7
Leuck	50,2	Trincheros in Venezuela	97
Aix in Savoyen	54,3		
Ems	56,25		

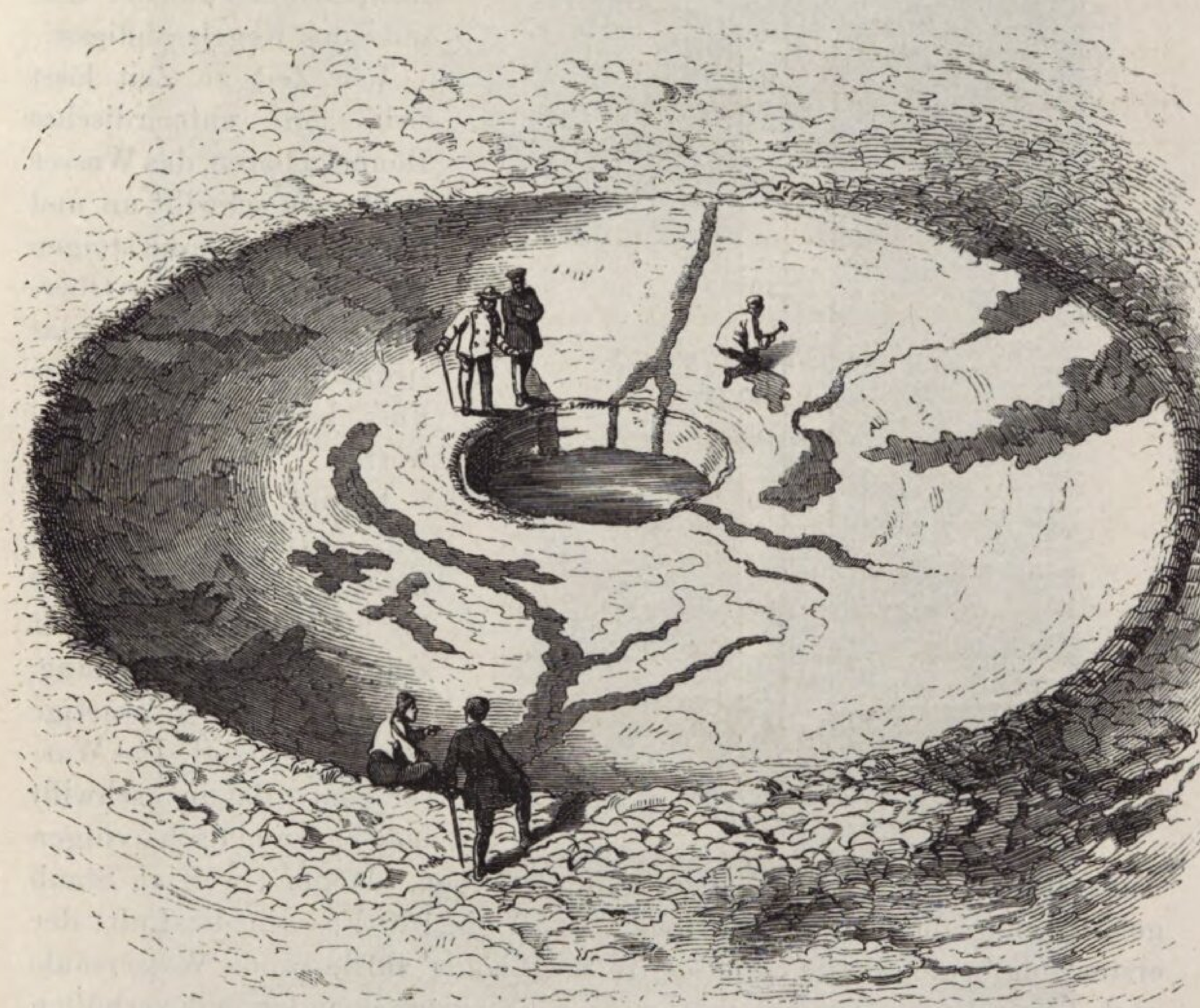
Solche Quellen sind ein unwiderlegliches Zeugniss für die höhere Temperatur, welche im Inneren des Erdkörpers herrscht.

193 **Die periodischen Springquellen Islands.** Ganz besonders merkwürdige Erscheinungen bieten manche der zahlreichen heissen Quellen Islands dar. Die ganze Insel ist vulcanischen Ursprungs. Unabsehbare Schneefelder decken die Kuppen der isländischen Gebirge, von denen sich gewaltige, meilenbreite Gletscher herabsenken. Ungeheure Wassermassen

brechen aus den Spalten und Gewölben dieser Gletscher hervor oder stürzen sich in Cascaden von den Eiswänden herab. Trifft nun das abziehende Wasser auf vulcanische Klüfte und Spalten, so wird es durch dieselben jenen Tiefen zugeführt, wo unter dem Einfluss der vulcanischen Bodenwärme eine Erhitzung und Dampfbildung erfolgt. Das Wasser, durch die vereinigte Kraft der Dämpfe und des hydrostatischen Druckes gehoben, bricht alsdann in mächtigen Thermen hervor.

Die isländischen Mineralquellen zeichnen sich durch einen grossen Gehalt an Kieselerde aus; sie zerfallen in saure und alkalische Kieselerdequellen, und die letzteren sind es, deren grossartige und eigenthümliche Erscheinungen wir hier näher betrachten wollen.

Fig. 285.



Die äusserst schwach alkalische Reaction dieser Quellen rührt von Schwefelalkalien, sowie von schwefelsaurem Kali und Natron her, welche der Kieselerde zum Lösungsmittel dienen und die für diese Quellen so charakteristischen Bildungen von Kieseltuff bedingen.

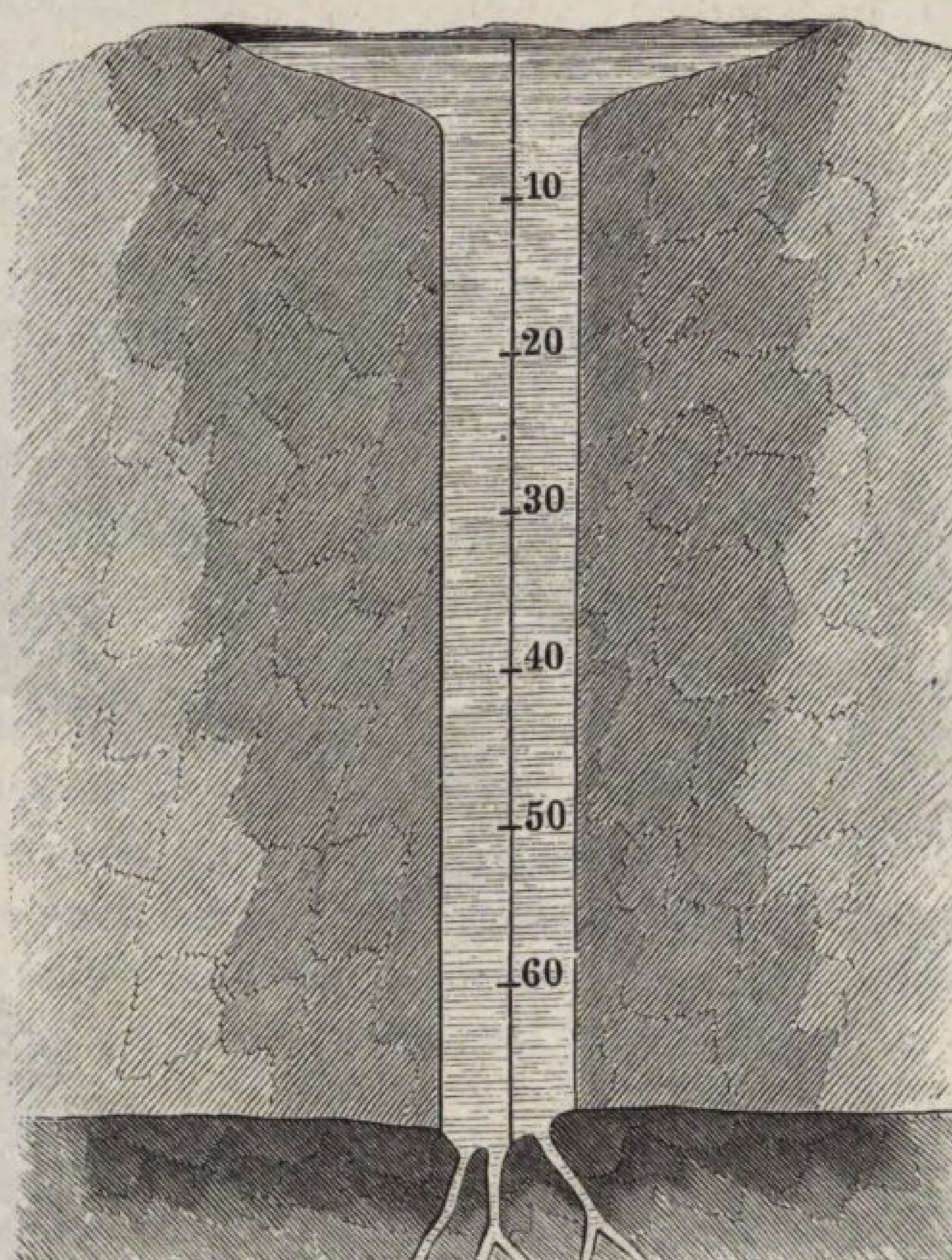
Die ausgezeichnetste unter den periodischen Springquellen Islands ist ohne Zweifel der grosse Geysir. Auf dem Gipfel eines aschgrauen aus Kieseltuff gebildeten Kegels befindet sich ein flaches Becken von

48 Fuss Durchmesser, in dessen Mitte sich ein Rohr von 9 bis 10 Fuss Durchmesser bis in eine Tiefe von 70 Fuss vertical hinabsenkt.

Fig. 285 (a. v. S.) ist eine Ansicht des Geysirbeckens, in dessen Mitte man die Mündung des Geysirrohres erblickt. Fig. 286 stellt einen verticalen Durchschnitt des Geysirrohres dar. Auf dem Maassstab in der Mitte ist die Tiefe unter dem Spiegel des Beckens, in pariser Fussen ausgedrückt, aufgetragen.

Unter den gewöhnlichen Verhältnissen ist das Becken mit krystallklarem, seegrünem Wasser gefüllt, welches in kleinen Abflussrinnen auf der Ostseite des Kegels abfliesst.

Fig. 286.



Von Zeit zu Zeit lässt sich ein unterirdisches Donnern hören, das Wasser im Becken schwillt an und grosse Dampfblasen steigen auf, welche an der Oberfläche zerplatzen und das siedende Wasser einige Fuss hoch in die Höhe werfen.

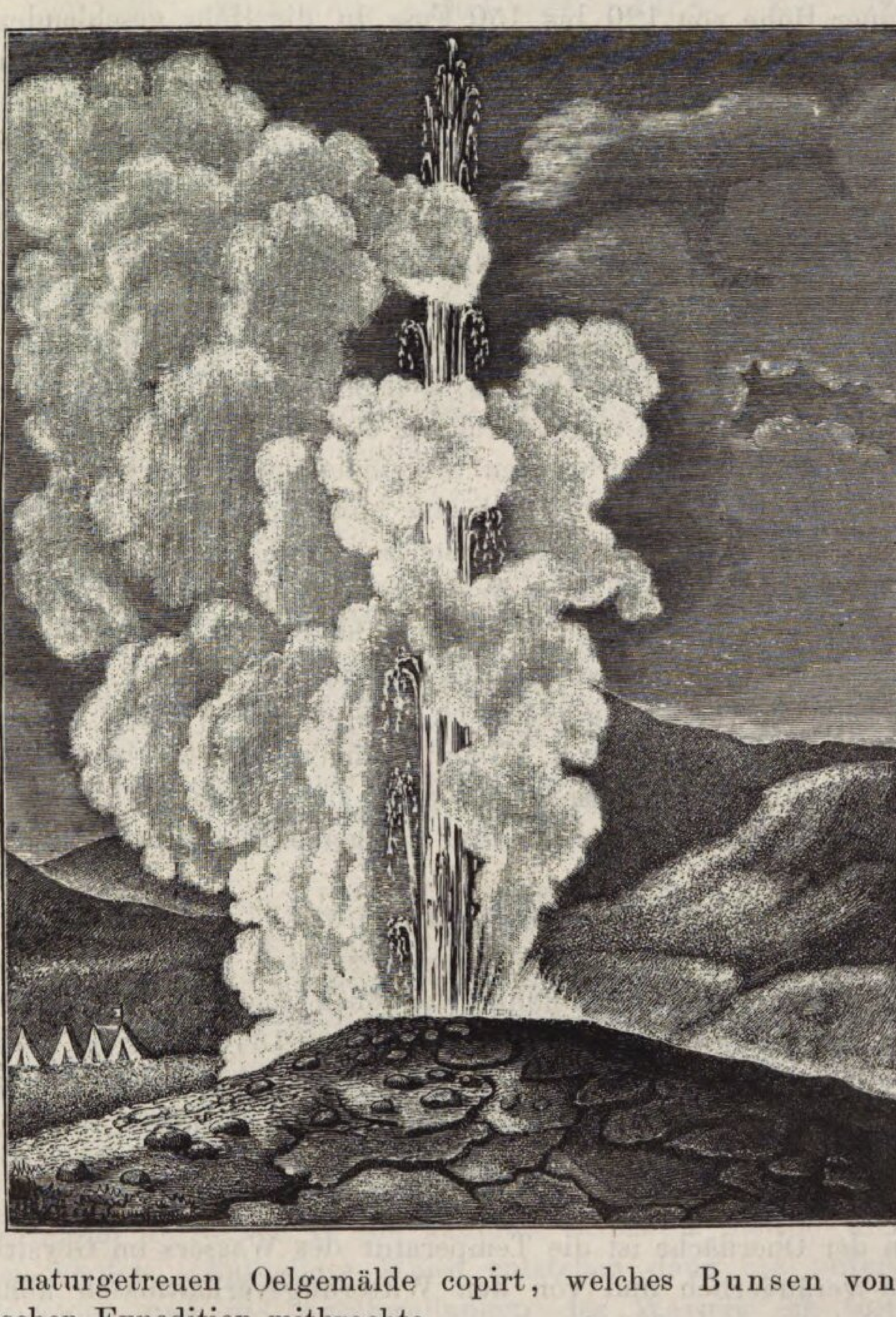
Darauf wird es wieder still. In regelmässigen Zwischenräumen von 80 bis 90 Minuten wiederholt sich dieselbe Erscheinung, bis endlich eine grossartige Eruption erfolgt. Das Wasser im Bassin schwillt höher an, und nach wenigen Augenblicken schiesst ein Wasserstrahl, in feinen, blendend weissen Staub gelöst, senkrecht bis zu einer Höhe von 80 bis 100 Fuss in die Luft; der ersten folgt eine zweite, eine dritte noch höher aufsteigende Wassersäule nach. Ungeheure Dampfwolken wälzen sich über einander und verhüllen zum Theil die Wassergarbe. Kaum ist der letzte, alle vorhergehenden an Höhe übertreffende, manchmal Steine aus der Tiefe mit emporschleudernde Wasserstrahl in die Höhe geschossen, so stürzt die ganze Erscheinung, nachdem sie nur wenige Minuten gedauert hatte, in sich zusammen, und nun liegt das vorher ganz mit Wasser gefüllte Bassin trocken vor den Augen des herannahenden Beobachters, der in dem Rohre, erst 6 Fuss unter dem Rande, das Wasser ruhig und still erblickt.

Allmälig fängt das Wasser im Rohre wieder an zu steigen und nach einigen Stunden ist es wieder bis zum Ueberlaufen gefüllt. Die Detonationen stellen sich aber erst 4 bis 6 Stunden nach der Entleerung des

Beckens wieder ein, und nehmen alsdann ihren regelmässigen Verlauf bis zur nächsten grossen Eruption, welche oft mehr als einen Tag auf sich warten lässt.

Fig. 287 stellt eine Eruption des grossen Geysirs dar. Sie ist nach

Fig. 287.



einem naturgetreuen Oelgemälde copirt, welches Bunsen von seiner isländischen Expedition mitbrachte.

Einige hundert Schritte südwestlich vom grossen Geysir liegt eine zweite periodische Springquelle, welche der Strokkr (das Butterfass) genannt wird. Der Strokkr hat keinen Eruptionskegel von Kieseltuff; sein Rohr ist trichterförmig und hat oben einen Durchmesser von 7 Fuss, während es in einer Tiefe von 25 Fuss nur noch 9 Zoll weit ist. In einer Tiefe von 40 Fuss stösst das Senkblei auf Hindernisse.

Das Wasser des Strokkr steht 9 bis 12 Fuss unter der Mündung des

Trichters; es hat also keinen Abfluss und ist in einem beständigen heftigen Sieden begriffen. Die Eruptionen des Strokkr sind häufiger als die des grossen Geysirs, während die jedesmal geförderte Wassermasse ungleich geringer ist. Durch die Ausbrüche des Strokkr werden stossweise nacheinander mehrere in den feinsten Staub aufgelöste Wasserstrahlen bis zu einer Höhe von 120 bis 150 Fuss in die Höhe geschleudert, bis nach einigen Minuten kleinere Strahlen das Schauspiel beschliessen.

Ganz in der Nähe des grossen Geysirs und des Strokkr liegen noch gegen vierzig heisse Quellen, welche zum Theil gleichfalls periodische Stossquellen sind, theils tiefe mit ruhigem, dunkelgrünem, heissem Wasser angefüllte Bassins bilden. Die bedeutendste unter den kleineren Springquellen spritzt ihr Wasser 20 bis 30 Fuss hoch.

Der Litli Geysir (kleine Geysir) gehört einer anderen Thermengruppe an, welche acht Meilen südwestlich vom grossen Geysir liegt. Die Eruptionen des kleinen Geysirs, welche in Zwischenräumen von $3^3/_4$ Stunden stattfinden, sind nicht durch ein stossweises, auf eine kurze Zeitdauer beschränktes Hervorbrechen des siedenden Wassers charakterisirt. Ihre Annäherung giebt sich durch eine allmälig zunehmende Dampfentwickelung und durch ein unterirdisches plätscherndes Geräusch zu erkennen. Dann dringt kochender Wasserschaum hervor, der in langsamen Perioden steigend und fallend sich immer höher und höher erhebt, bis er nach etwa zehn Minuten, wo die Erscheinung ihre grösste Entwickelung erreicht hat, in vertical und seitlich aufspritzenden Garben gegen 30 bis 40 Fuss hoch emporsteigt. Dann nehmen die Strahlen an Umfang und Höhe in ähnlicher Weise ab, wie sie sich erhoben, bis die Quelle nach abermals zehn Minuten zu ihrer vorigen Ruhe zurückgekehrt ist.

194 **Erklärung des Geysirphänomens.** Schon Lottin und Robert, welche im Jahre 1836 Island besuchten, haben gefunden, dass die Temperatur der Geysircolonne von oben nach unten zunimmt. — Bunsen und Descloizeaux, welche im Jahre 1846 mehrere Monate in Island zubrachten, haben durch zahlreiche Messungen die Temperaturverhältnisse des grossen Geysirs auf das Genaueste ermittelt, und dadurch den Grund zu der schönen Theorie der Geysir-Eruptionen gelegt, durch welche Bunsen die Wissenschaft bereichert hat.

An der Oberfläche ist die Temperatur des Wassers im Geysirbecken ziemlich veränderlich und von den Witterungsverhältnissen abhängig; im Mittel beträgt sie 85^0 C.

Innerhalb des Geysirrohres steigt die Temperatur, kleine Störungen abgerechnet, an jedem Punkte der Säule fortwährend von einer Eruption bis zur nächsten, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, welche die Resultate einer Beobachtungsreihe enthält.

Höhe über dem Boden.	23 Stunden	$5\frac{1}{2}$ Stunden	10 Minuten	Siedepunkt für d. jedesmaligen Druck.
	vor einer grossen Eruption.			
1 Fuss . . .	123,6⁰ C.	127,5⁰ C.	126,5⁰ C.	136,0⁰ C.
20 „ . . .	113,0	120,4	121,8	124,2
44 „ . . .	85,8	106,4	110,0	117,4
60 „ . . .	82,6	85,2	84,7	107,0

Von unten her tritt also durch Canäle, deren Verlauf man nicht weiter verfolgen kann, das weit über 100⁰ erhitzte Wasser langsam in das Geysirrohr ein, während an der Oberfläche des Beckens eine fortwährende Abkühlung stattfindet. Eine Folge davon ist, dass das heisse Wasser in der Mitte des Rohres aufsteigt, sich an der Oberfläche des Beckens gegen den Rand hin verbreitet und dann abgekühlt an dem Boden des Bassins nach der Röhre zurückfliesst.

Aus der Betrachtung der obigen Tabelle ersieht man nun, dass das Wasser an keiner Stelle und zu keiner Zeit eine so hohe Temperatur hat, wie sie erforderlich wäre, damit das Wasser bei dem auf ihr lastenden Drucke ins Kochen gerathen könnte.

Einen Fuss über dem Boden z. B. hat das Wasser ausser dem Druck der Atmosphäre noch eine Wassersäule von 69 Fuss zu tragen; bei diesem Druck aber müsste es bis auf 136⁰ erhitzt werden, wenn das Kochen beginnen sollte, während seine Temperatur hier 10 Minuten vor der grossen Eruption nur 126,5⁰, also 9,5⁰ unter dem entsprechenden Siedpunkte war.

In einer Tiefe von 50 Fuss, also 20 Fuss über dem Boden, wurde kurz vor einer grossen Eruption die Temperatur des Wassers gleich 121,8⁰, also nur 2,4⁰ niedriger gefunden als der Siedepunkt (124,2⁰), welcher dem auf dieser Stelle lastenden Druck entspricht.

Obgleich nun die Temperatur des Wassers im Geysirrohre im Allgemeinen nicht den dem Druck entsprechenden Siedepunkt erreicht, so können doch von Zeit zu Zeit einzelne Wasserparthien noch heiss genug in höheren Schichten ankommen, um Dampfblasen zu bilden, die aber bei fernerem Aufsteigen in die kälteren Schichten alsbald wieder verdichtet werden. Auf diese Weise entstehen dann die unterirdischen Detonationen und die Anschwellungen des Wassers im Geysirrohre, welche im vorigen Paragraphen erwähnt wurden.

Durch eine Bildung von Dampfblasen wird aber die Wärme gebunden, die Temperatur der Wasserschichten, aus welchen die Dampfblase sich entwickelt, wird so weit erniedrigt, dass einige Zeit vergeht, bevor eine neue Blasenbildung erfolgen kann. Deshalb folgt auf jede mit einer Aufwallung im Becken begleitete Detonation eine Zeit der Ruhe.

Allmälig nimmt aber die Temperatur des Wassers an allen Stellen

des Geysirrohres zu, die Dampfblasen werden grösser und mächtiger, so dass sie theilweise noch die Oberfläche des Wassers erreichen. Endlich aber werden die Dampfblasen mächtig genug, um eine bedeutende Wassermasse aus dem Geysirrohre hinauszuschleudern, und dies ist dann der erste Anstoss zu einer grossen Eruption. Indem nämlich durch solche Dampfblasen ein Theil der Wassersäule aus dem Rohre hinausgeschleudert wird, wird der Druck, welcher auf den tieferen Schichten lastet, so weit vermindert, dass auf einmal eine so massenhafte Dampfentwickelung stattfindet, wie sie nothwendig ist, um die Eruptionen zu bewirken, die wir oben kennen lernten.

Wenn z. B. eine mächtige Dampfblase so viel Wasser aus dem Rohre hinaustreibt, dass die auf den tieferen Schichten lastende Wassersäule dadurch um 5 bis 6 Fuss verkürzt wird, so wird der Druck, welcher auf der 20 Fuss über dem Boden sich befindenden Wasserschicht lastet, so weit vermindert, dass dieselbe schon bei einer Temperatur von ungefähr 120° ins Kochen gerathen kann. Da nun aber an dieser Stelle das Wasser, wie wir oben gesehen haben, die Temperatur von 121,8° hat, so ist klar, dass nun hier eine so mächtige Dampfentwickelung stattfinden muss, dass von Neuem ungeheure Wassermassen aus dem Rohre in die Höhe geschleudert werden. Dadurch werden aber auch die nächsttieferen Schichten ins Kochen gebracht, welche noch grössere Wassermassen in die Höhe treiben, bis endlich die im Rohre aufgespart gewesene Wärme so weit consumirt ist, dass keine weitere Dampfbildung mehr stattfinden kann.

Nur theilweise fällt das abgekühlte Wasser in das Bassin herab, ohne es jedoch ausfüllen zu können. Die ganze Wassersäule ist jetzt so stark abgekühlt, dass erst nach 4 bis 5 Stunden die erwähnten Detonationen wieder eintreten können.

Der Sitz der Kraft, welcher die in kochenden Schaum verwandelte Wassermasse emporschleudert, ist also in dem Geysirrohre selbst und nicht, wie man früher glaubte, in unterirdischen Höhlungen zu suchen, welche abwechselnd bald mit Wasser, bald mit Dampf gefüllt sein sollten.

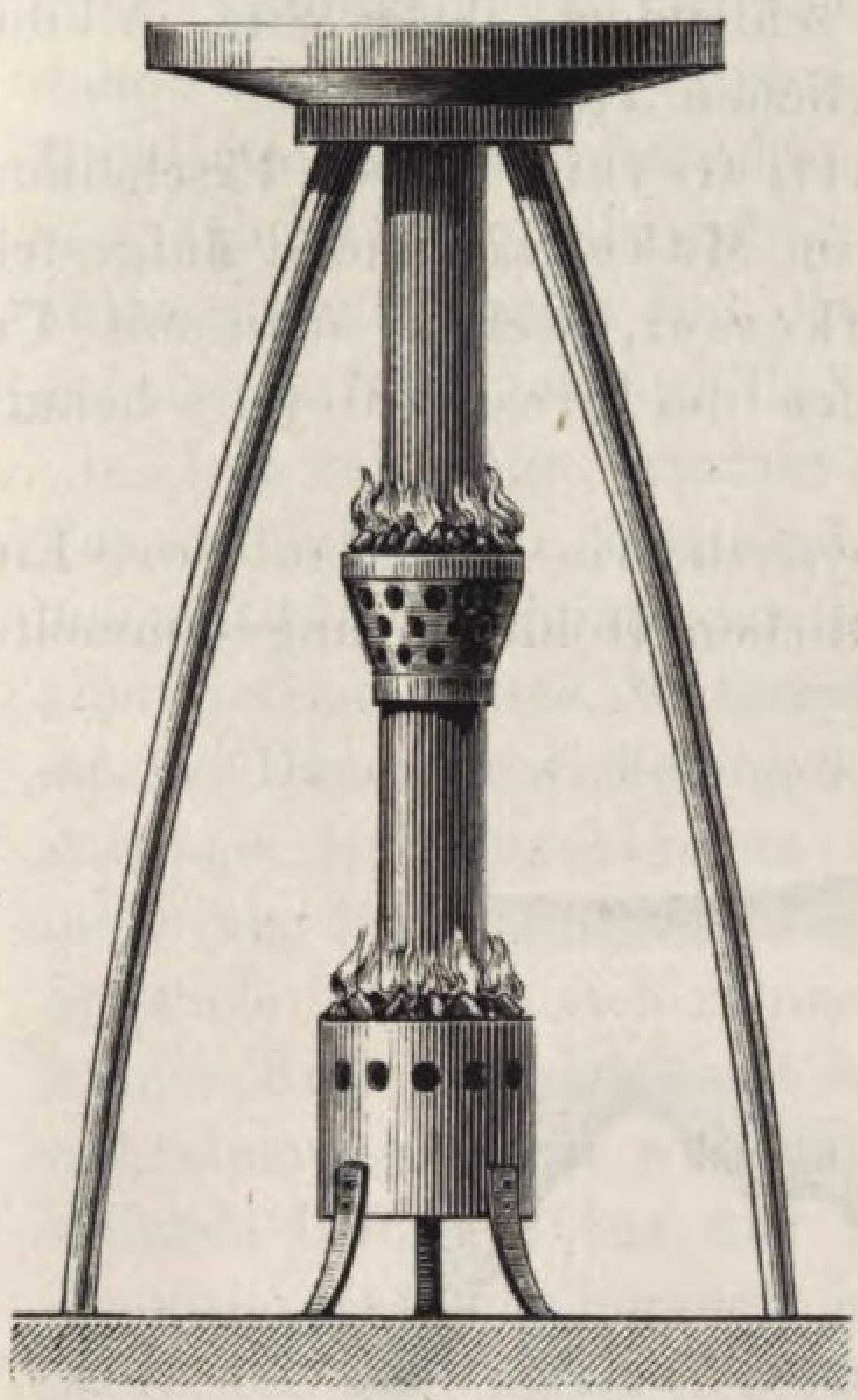
Wenn Bunsen's Erklärung der Geysir-Eruptionen die wahre ist, wenn er die Bedingungen des Phänomens richtig erkannt hat, so muss man auch im Stande sein, sie nachzuahmen. Der Apparat, den ich zu diesem Zwecke construirt habe, ist in Fig. 288 abgebildet. Eine ungefähr 5 Fuss hohe Blechröhre von 5 Zoll Durchmesser ist unten geschlossen, und mündet oben in ein flaches Becken von Blech, welches etwas über 2 Fuss im Durchmesser hat. Ungefähr in der Mitte seiner Höhe ist an diesem Rohre ein von durchlöchertem Blech gebildetes Kohlenbecken befestigt. Der ganze Apparat wird durch einen hölzernen Ring getragen, welcher auf drei Beinen ruht.

Das Rohr wird ungefähr bis zu seiner Mündung in das Becken mit Wasser gefüllt, sein unteres Ende in einen mit glühenden Kohlen gefüll-

ten kleinen Ofen gesenkt und auch der mittlere Kohlenbehälter mit glühenden Kohlen gefüllt.

Die Wassermasse zwischen den beiden Kohlenbecken wird nun nach einiger Zeit bis zu der Siedetemperatur erwärmt sein, welche dem auf ihr lastenden Druck entspricht. Beginnt nun an der Stelle des oberen Kohlenbeckens die Dampfbildung, so werden die ersten Dampfblasen nur ein Aufwallen des Wassers im Becken bewirken, bis endlich, nach einigen solchen, gleichsam vergeblichen Versuchen, eine Eruption erfolgt, welche das siedende Wasser 2 bis 3 Fuss hoch über das Bassin in die Höhe schleudert.

Fig. 288.



Betrachten wir nun zum Schlusse noch die Bildung des Geysirrohres. Der Quellenboden ist aus Tuff gebildet, welcher durch das heisse Wasser zerlegt wird. Besonders unter dem Einflusse des kohlensauren Natrons und Kalis wird die Kieselerde gelöst, so dass die ursprüngliche Gesteinsmasse in ein Thonlager verwandelt wird, welches von den Kieselincrustationen der Quelle bedeckt ist.

Der Gehalt des Geysirwassers an kohlensaurem Kali und Natron bewirkt, dass es selbst vollständig erkaltet noch klar bleibt und eine Ausscheidung der Kieselerde erst bei vollständiger Verdampfung des Wassers eintritt. Daher kommt es denn, dass das Quellenbassin selbst von Kieselbildungen frei bleiben muss, während seine den Wasserspiegel überragenden Ränder, an denen die durch Capillarität eingesogene Flüssigkeit leicht und schnell verdampft, sich mit einer Kieselkruste überkleiden. Auf diese Weise baut sich das Quellenbassin, indem es sich mit einem Hügel von Kieselsinter umgiebt, zu einer tiefen Röhre auf, die, wenn sie eine gewisse Höhe erreicht hat, alle Bedingungen in sich vereinigt, um die Quelle in einen Geysir, d. h. in eine Springquelle zu verwandeln.

Die Kieselsinterbildungen schreiten aber unaufhörlich fort, bis sie endlich im Laufe der Jahrhunderte eine Höhe erreicht haben, welche der Eruptionsthätigkeit der Quelle ein Ziel setzt, wenn endlich die von unten zugeführte Wärme nicht mehr hinreichend ist, um bei dem erhöhten Druck an irgend einer Stelle des Rohrs eine Dampfbildung zu bewirken. Es entstehen dann grosse, mit heissem Wasser gefüllte Tuffreservoire.

Etwas oberhalb des gegenwärtig in voller Thätigkeit begriffenen Quellenbezirkes des grossen Geysirs erblickt man noch mehrere solcher

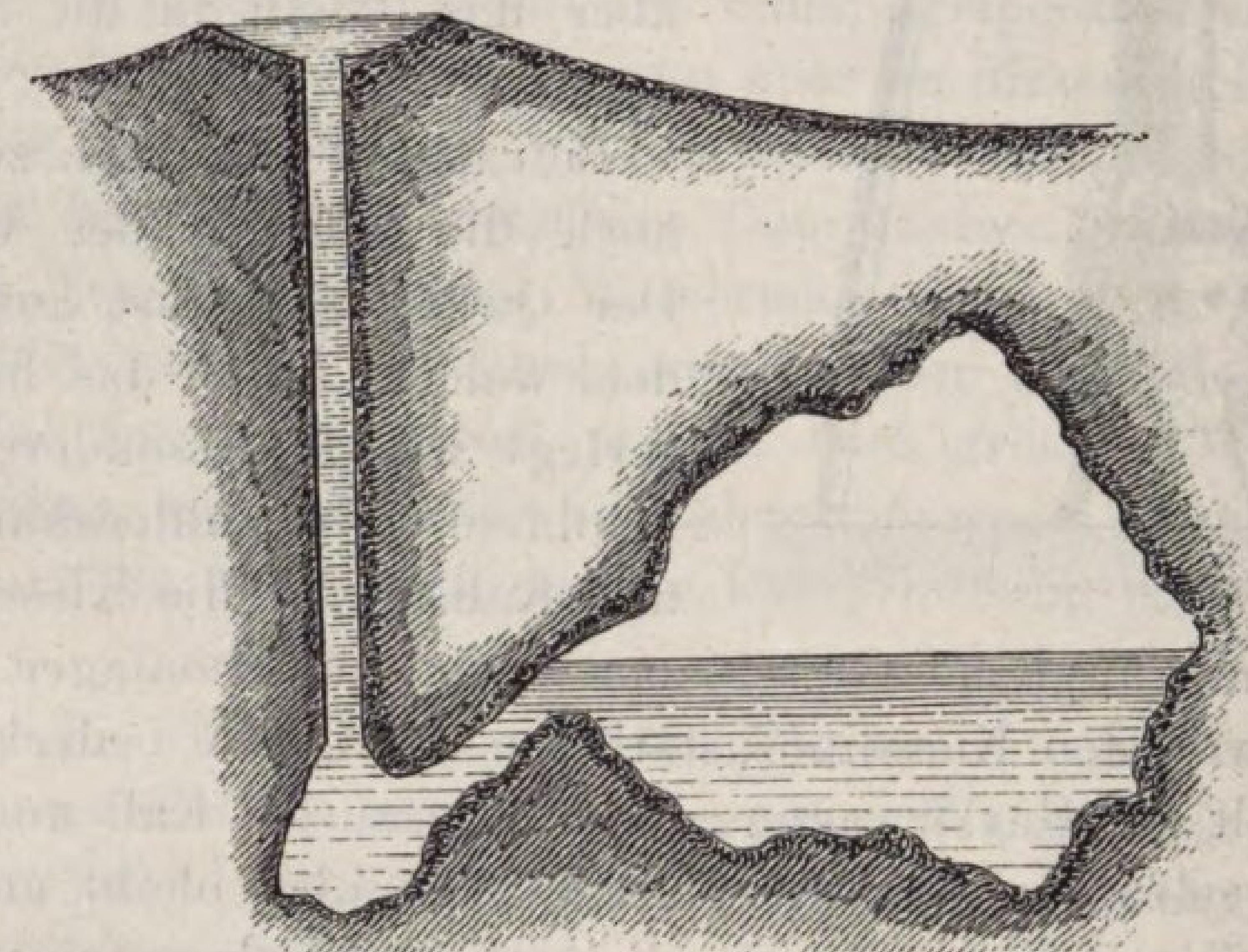
mit heissem Wasser gefüllter Behälter, in deren Tiefe man noch die alten Geysirmündungen durchschimmern sieht.

Die Eruptionen des Strokkr kommen wahrscheinlich in ähnlicher Weise zu Stande, wie die des grossen Geysirs, aber jedenfalls hat die Kraft, welche das Wasser in die Höhe schleudert, ihren Sitz in einer grösseren, für directe Versuche unzugänglichen Tiefe.

Anders verhält es sich mit dem Litli Geysir, dessen Erscheinungen von der Art sind, dass sie mit der von Makenzie zuerst aufgestellten Hypothese unterirdischer Dampfkessel, welche man mit Unrecht auch zur Erklärung der Eruptionen des grossen Geysirs benutzt hat, in völligem Einklang stehen.

Fig. 289 dient dazu, die ältere Geysirtheorie zu erläutern. Eine Eruption erfolgt, wenn die in der seitlichen Höhlung angesammelten

Fig. 289.



Dämpfe hinlängliche Spannkraft erlangt haben, um sich einen Ausweg durch das Geysirrohr zu erzwingen.

195 **Die heissen Quellen Neuseelands.** Während sich auf der Südinsel Neuseelands ein riesiges Alpengebirge mit schneebedeckten Kämmen und Gipfeln erhebt, ist die Nordinsel durchaus vulcanischer Natur und es ist hier das Phänomen der heissen Quellen in einer Grossartigkeit entwickelt, wie man ausser dem fast diametral gegenüberliegenden Island nichts Aehnliches mehr auf der Erde findet.

Ungefähr im Mittelpunkte des breiteren Theiles der Nordinsel liegt 1200 Fuss über dem Meere der Taupo-See ($5^1/_2$ deutsche Meilen lang, $4^1/_2$ Meilen breit).

An der Südspitze des Sees erhebt sich eine Gruppe von Kegelbergen, von denen Pihanga und Kakaramea (3500 und 2900 Fuss über dem Meere) die höchsten sind. Beide Krater gelten als erloschen, allein die vulcanischen Kräfte der Tiefe sind noch keineswegs zur Ruhe ge-

kommen, denn am nördlichen Abhang und am Fusse des Kakaramea dampft, brodelt und kocht es an mehr als hundert Stellen.

Der ganze nördliche Abhang des Kakaramea-Berges scheint von heissem Wasser weich gekocht und im Abrutschen begriffen zu sein. Aus allen Sprüngen und Klüften dieser Bergseite strömt heisser Wasserdampf und kochendes Wasser mit einem fortwährenden Getöse, als wären Hunderte von Dampfmaschinen im Gange.

Das Hauptquellengebiet dieser Gegend liegt jedoch am Nordwestabhang des Pihanga bei dem Maori-Dorf (Maori ist der Name der eingeborenen Bevölkerung) Tokanu an dem Flusse gleiches Namens.

Die gewaltige, weithin am See sichtbare Dampfsäule, die man bei Tokanu aufsteigen sieht, gehört dem grossen Sprudel Priori an. Aus einem tiefen Loch an der linken Uferwand des Tokanu-Flusses steigt eine siedend heisse Wassersäule von 2 Fuss Durchmesser, stets unter starker Dampfentwickelung 6 bis 10 Fuss hoch wirbelnd in die Höhe. Nach Aussage der Eingeborenen soll das Wasser oft mit gewaltigem Getöse mehr als 40 Fuss hoch ausgeworfen werden. In der Nähe des Priori-Sprudels befinden sich zahlreiche mit chalcedonartigem Kieselsinter überzogene Kessel, welche mit fortwährend kochendem, klarem Wasser oder mit einem graulich weissen Schlamm gefüllt sind. Ein solcher Kessel, welchen Hochstetter nur als kochenden Schlammpfuhl sah, soll nach Aussage der Eingeborenen im Jahre 1848 ein immenser Geysir gewesen sein, der eine heisse Wassersäule gegen hundert Fuss hoch ausgeworfen habe, so dass das Dorf übergossen wurde. — Auch aus anderen Wahrnehmungen geht hervor, dass in diesem Quellengebiet fortwährend Veränderungen vor sich gehen.

Eine zwei bis drei Fuss dicke mitunter völlig opalartige Decke von Kieselsinter, unter der feiner Thonschlamm liegt, bedeckt den grösseren Theil des Quellengebietes. In kleineren Löchern, wo nur heisser Wasserdampf ausströmt, steigt das Thermometer auf 98° C. Die Eingeborenen benutzen solche Dampflöcher zum Kochen und haben besondere Hütten für den Winter, die auf warmem Grunde errichtet sind. Sie nennen die heissen Quellen Puia und unterscheiden Papa-Puia, die Quellen mit klarem Wasser, welche Kieselsinter absetzen, und Uku-Puia, die kochenden Schlammpfühle und kleinen Schlammvulcane. Die zum Baden geeigneten Quellen, deren Wasser nie die Siedehitze erreicht, und alle warmen Bäder heissen Waiariki.

Wie das Südende, so ist auch das nördliche Ende des Sees durch warme Quellen bemerkenswerth, welche am Fuss des malerischen Tauhara-Berges entspringen. Wohl auf eine Meile Erstreckung, dem Ufer entlang, dampft der See, als wäre es ein See heissen Wassers. Hochstetter fand hier die Temperatur des Seewassers gleich 38° C.

Der nördlichsten Spitze des Taupa-Sees entströmt der Waikato, welcher alsbald zum mächtigsten Strom der Nordinsel anschwillt. Nach seinem Ausfluss aus dem Taupo-See strömt er ungefähr 4 Meilen weit

in nordöstlicher Richtung hin, um sich alsdann in einem grossen Bogen nordwestlich zu wenden und in ein Bergland einzutreten, welches er in enger Felsschlucht durchbrochen hat. Hier nun befinden sich die Puias von Orakeikorako, welche eines der interessantesten Quellengebiete jener Gegend bilden. Hochstetter beschreibt das Schauspiel, welches sich ihm hier darbot, in folgender Weise:

„Reissenden Laufes, Stromschnelle hinter Stromschnelle bildend, stürzt sich der Waikato durch ein enges, tief zwischen steil emporsteigenden Bergen eingerissenes Thal; — — an den Ufern aber steigen weisse Dampfwolken auf, von heissen Cascaden, die in den Fluss fallen, und von Kesseln siedenden Wassers, die von weissen Steinmassen umschlossen sind. Dort steigt eine dampfende Fontaine in die Höhe und sinkt wieder nieder; jetzt erhebt sich an einer anderen Stelle eine zweite Fontaine. Auch diese hört auf, dort aber fangen zwei zu gleicher Zeit an zu springen, die eine ganz unten am Flussufer, die andere gegenüber auf einer Terrasse, und so dauert das Schauspiel wechselnd fort. — — — Ich fing an, alle die einzelnen Stellen zu zählen, wo ein kochendes Wasserbecken sichtbar war oder wo eine Dampfwolke ein solches andeutete. Ich zählte 76 solcher Punkte, ohne jedoch das ganze Gebiet übersehen zu können, und darunter sind viele intermittirende geysirähnliche Springquellen, welche periodische Wassereruptionen haben.

„Dieses Quellengebiet erstreckt sich dem Waikato entlang etwa eine englische Meile weit an beiden Ufern des Flusses. Der grössere Theil der Quellen liegt am rechten Ufer, ist aber äusserst schwer zugänglich. — — Ich musste mich auf eine nähere Besichtigung der am linken Flussufer dicht unter dem Dorfe (Orakeikorako) liegenden Quellen beschränken.

„Eine grosse 120 Schritt lange und eben so breite, aus weisslichem Kieselsinter bestehende Felsplatte, die sich bis in den Waikato hineinzieht, eine wahre Sprudelschale, umfasst einige der merkwürdigsten und bedeutendsten Quellen des ganzen Gebiets, vor allem die Puia te mimi a Homaiterangi. Sie liegt dicht am Flussufer auf einem blasenförmig erhobenen Theil der Sprudelschale. — — Meine Reisegefährten Haast und Hay wollten sich am frühen Morgen den Genuss eines Bades im Waikato verschaffen und hatten eben ihre Kleider in der Nähe eines Bassins voll siedenden Wassers niedergelegt, als sie plötzlich neben sich eine heftige Detonation vernahmen und sahen wie das Wasser im Becken mächtig aufwallte. Erschreckt sprangen sie zurück und hatten eben noch Zeit, einem Giessbad siedend heissen Wassers zu entrinnen; denn aus dem Bassin wurde jetzt unter Zischen und Brausen eine dampfende Wassersäule in schiefer Richtung gegen 20 Fuss in die Höhe geworfen. Noch in grösster Aufregung erzählten mir meine Gefährten ihr Abenteuer mit dem heimtückischen Geysir; als ich aber zur Stelle kam, war längst wieder alles ruhig und in dem 4 bis 5 Fuss weiten kesselförmigen Becken sah ich krystallhelles Wasser nur leicht aufwallen. Es zeigte

eine Temperatur von 94° C. — — — Die erste Wasser-Eruption, welche ich selbst beobachtete, erfolgte um 11 Uhr 20 Minuten Vormittags. Das Becken war kurz vor der Eruption bis zum Rande voll. Unter deutlich vernehmbarem, murmelndem Geräusche in der Tiefe des Beckens kam das Wasser in immer heftigeres Kochen und wurde dann plötzlich unter einem Winkel von 70° in südöstlicher Richtung 20 bis 30 Fuss hoch ausgeworfen. Mit dem Wasser brachen unter zischendem Gebrause gewaltige Dampfmassen aus dem Kessel hervor, welche die Wassergarbe theilweise verhüllten. Dies dauerte $1\frac{1}{2}$ Minuten, dann nahm die auswerfende Kraft ab, das Wasser sprang nur 1 bis 2 Fuss hoch und nach zwei Minuten hörte unter einem dumpfen gurgelnden Geräusch das Wasserspiel ganz auf. Als ich jetzt an das Bassin herantrat, war es leer und ich konnte acht Fuss tief hinabsehen in ein trichterförmig sich verengendes Loch, aus dem unter Zischen Wasserdampf entwich.

„Allmälig stieg das Wasser wieder; nach zehn Minuten war das Becken von Neuem voll und um 1 Uhr 36 Minuten fand eine zweite, um 3 Uhr 10 Minuten eine dritte Eruption statt.

„Der Absatz dieser, wie aller umliegenden Quellen ist Kieselsinter; der frische Absatz ist gelatinartig; allmälig erhärtet er zu einer zerreiblichen, sandig sich anfühlenden Masse und endlich bildet sich aus den über einander abgelagerten Schichten ein festes Gestein von der mannigfaltigsten Beschaffenheit in Farbe und Structur an verschiedenen Stellen. — — — —

„Die Hauptquelle, welcher jene grosse Sprudelschale vorzugsweise ihre Entstehung verdankt, liegt dicht am Fusse der aufsteigenden Hügel. Es ist ein gewaltiger, beständig 2 bis 3 Fuss hoch aufwallender Sprudel, dessen klares Wasser eine Temperatur von 98° C. besitzt. — Der mich begleitende Häuptling erzählte mir, dass dieser Sprudel nach dem Erdbeben von Wellington im Jahre 1848 zwei Jahre lang ein Geysir gewesen sei, der gegen 100 Fuss hoch sprang und mit grosser Gewalt selbst grosse Steine, wenn man sie hineinwarf, wieder ausschleuderte. Drei in der Nähe liegende kleinere Bassins werden durch den Abfluss des Sprudels gefüllt und bilden vortreffliche natürliche Badebassins.

„Zu beiden Seiten des beschriebenen Sprudelgebietes flussauf- und flussabwärts liegen, im Gebüsche der Uferbänke verborgen, zahlreiche kochende Schlammtümpel, denen man sich nur mit der grössten Vorsicht nähern kann, da der erweichte, von keiner Sinterdecke geschützte Boden nachgiebt. — — — —

„Am gegenüberliegenden Flussufer liegt die Puia-Tuhi-tarata. Der Abfluss aus einem Kessel voll lichtblau schillernden Wassers bildet eine dampfende Cascade über eine in grossen Terrassen zum Fluss abfallende und in den buntesten Farben, weiss, roth und gelb schillernde Sinterablagerung. Dasselbe Schauspiel wiederholt sich flussaufwärts fünf- bis sechsmal, und dazwischen bemerkt man Punkte, wo periodische

Eruptionen stattfinden, hier alle fünf, an anderen Stellen alle zehn Minuten. — —“

Sieben Meilen nordöstlich vom Taupo-See liegen nahe zusammen einige kleinere Seen, welche durch landschaftliche Schönheit ausgezeichnet sind und von denen der Rotorua, der westlichste, einer der grössten ist. Am Südende des Rotorua befindet sich ein weiteres Geysirgebiet. Die Hauptquellen liegen am rechten Ufer des Puarenga-Baches. Sieben bis acht derselben haben periodische Wasser-Eruptionen, sind also geysirähnliche Springquellen. Bisweilen soll es vorkommen, dass alle zusammen spielen. Hochstetter war nicht so glücklich, ein solches Schauspiel mit anzusehen, sondern musste sich begnügen, eine kleine Eruption des Waikito-Sprudels zu beobachten. Die Mündung des Springers liegt auf der Spitze eines von der Quelle selbst erbauten, flachen Sinterkegels von etwa 100 Fuss Durchmesser und 15 Fuss Höhe, der zwischen grünem Manuka- und Farngebüsche liegend einen sehr malerischen Anblick gewährt. Der Kegel besteht aus weissem Kieselsinter, hat aber viele Risse und Löcher, die alle mit zierlichen Schwefelkrystallen incrustirt sind; die heissen Dämpfe, welche aus diesen Löchern ausströmen, riechen indess weder nach schwefliger Säure, noch nach Schwefelwasserstoff, sondern nur nach sublimirtem Schwefel. — In Pausen von ungefähr 8 Minuten wirft der Waikito eine 2 bis 3 Fuss dicke Wassersäule 6 bis 8 Fuss hoch aus. Im Januar und Februar aber soll er sich in seiner ganzen Glorie zeigen und 30 bis 35 Fuss hoch springen.

Dieses heisse Quellengebiet erstreckt sich vom Whakarewarewa dem Laufe des Puarengabaches entlang 1½ (engl.) Meilen weit bis zur südlichen Bucht des Rotorua-Sees. Die Anzahl der kleineren Sprudel, der kochenden Schlammkessel, der Schlammvulcane und Solfataren, die auf diesem Gebiete liegen, muss nach Hunderten gezählt werden.

Wenden wir uns nun zum Schluss zum berühmten Rotomahana, dessen Wunder alles andere weit übertreffen, was Neuseeland an heissen Quellen bietet.

Der Rotomahana, d. h. der warme See, liegt im Südosten des Seedistrictes und zwar südlich vom Tarawera-See. Er ist ungefähr 4200 Fuss (nicht ganz ¼ deutsche Meile) lang und etwa 1400 Fuss breit. Ausser einer grossen Anzahl kleinerer heisser Quellen, welche an unzähligen Punkten zu Tage treten, liegen um den Rotomahana etwa 25 grössere Quellenbassins, deren heisses Wasser in den See strömt, wodurch dasselbe so erwärmt wird, dass es am Nordende als ein Bach von 26° C. abströmt, während am Südende Bäche von 9 bis 10° C. einströmen.

Das Hauptinteresse knüpft sich an das östliche Ufer des Sees. Da liegen die bedeutendsten Quellen, unter welchen Te Tarata am nordöstlichen Ende des Sees oben an steht. Dieser gewaltige kochende Sprudel mit seinen weit in den See hineinragenden Sinterterrassen ist das wunderbarste unter den Wundern des Rotomahana. Etwa 80 Fuss hoch

über dem See, an einem farnbewachsenen Hügelabhang, an welchem an zahlreichen durch Eisenoxyd gerötheten Stellen heisse Wasserdämpfe entweichen, liegt in einem kraterförmigen, nach der Seeseite offenen Kessel mit steilen, 30 bis 40 Fuss hohen Wänden das grosse Hauptbassin des Sprudels. Es ist 80 Fuss lang und 60 Fuss breit und bis zum Rande gefüllt mit vollkommen klarem Wasser, welches in dem schneeweiss übersinterten Becken wunderschön blau erscheint. Am Rande des Bassins fand Hochstetter die Temperatur von 84° C., in der Mitte aber, wo das Wasser fortwährend mehrere Fuss hoch aufwallt, wird es die Siedehitze haben. Ungeheure Dampfwolken wirbeln auf und verhindern meist den Ueberblick der ganzen Wasserfläche.

Der Eingeborene, welcher Hochstetter als Führer diente, versicherte, dass bisweilen plötzlich die ganze Wassermasse mit ungeheurer Gewalt ausgeworfen werde und dass man alsdann 30 Fuss tief in das leere Bassin blicken könne, welches sich aber sehr schnell wieder fülle. Nur bei heftigem, lange anhaltendem Ostwinde sollen solche Eruptionen vorkommen.

Das Wasser reagirt neutral, hat einen schwach salzigen Geschmack und besitzt in hohem Grade die Eigenschaft, zu übersintern und zu incrustiren. Der Absatz ist, wie bei den isländischen Quellen, Kieselsinter oder Kieseltuff und der Abfluss des Sprudels hat am Abhang des Hügels ein System von Kieselsinter-Terrassen gebildet, welche weiss, wie aus Marmor gehauen, einen Anblick gewähren, den keine Beschreibung und kein Bild wiederzugeben vermag. Es ist als ob ein über Stufen herabstürzender Wasserfall plötzlich in Stein verwandelt worden wäre.

Der flach sich ausbreitende Fuss reicht weit in den Rotomahana hinein. Darauf beginnen die Terrassen mit niederen Absätzen, welche seichte Wasserbassins tragen. Je höher nach oben, desto höher werden die Terrassen, 2, 3, manche auch 4 bis 6 Fuss hoch. Sie sind von einer Anzahl halbrunder Stufen oder Becken gebildet, von welchen sich jedoch nicht zwei in ganz gleicher Höhe befinden. Jede dieser Stufen hat einen kleinen erhabenen Rand, von welchem zarte Tropfsteinbildungen auf die tiefere Stufe herabhängen und eine bald schmälere, bald breitere Plattform, welche ein oder mehrere, im schönsten Blau schimmernde Wasserbecken umschliesst. Diese Wasserbecken bilden eben so viele natürliche Badebassins, welche der raffinirteste Luxus nicht prächtiger und bequemer hätte herstellen können. Einige der Becken sind so gross, dass man bequem darin herumschwimmen kann.

Vom Fusse der Tetarataquellen führt durch das Buschwerk am Hügelabhang hin ein Pfad nach dem grossen Ngahapu-Sprudel. Er liegt von dichtem Gebüsch umschlossen, ungefähr 10 Fuss über dem See. Die riesige Dampfsäule, welche stets von ihm aufsteigt, verräth seine Lage schon aus der Entfernung. Das Becken ist oval, 40 Fuss lang, 30 Fuss breit, das Wasser in demselben ist klar, aber fast immer in furchtbarer Aufregung; nur wenige Secunden lang ist es ruhig im Kessel;

dann wallt es wieder auf, bald mehr auf dieser, bald mehr auf jener Seite, es schäumt weiss auf, das Wasser wird 8 bis 10 Fuss hoch in die Höhe geworfen und eine furchtbare Brandung von kochend heissen Wellen stürmt mit Gebrause an die Wände des Bassins.

Mit Uebergehung aller übrigen wenden wir uns schliesslich noch zu dem grossen am Westufer gelegenen Terrassensprudel Otukapuarangi. Die Stufen reichen bis zum See, die Terrassen sind jedoch nicht so grossartig wie die Tetarata-Terrassen, dagegen zierlicher und feiner in ihrer Bildung. Die Plattform liegt 60 Fuss über dem See und ist 100 Schritte lang und breit. Sie trägt zierliche 3 bis 5 Fuss tiefe Bassins mit Wasser von 30 bis 40° C. Im Hintergrunde aber liegt in einem Krater das grosse Quellbecken, 40 bis 50 Fuss im Durchmesser und wahrscheinlich sehr tief. Es ist ein ruhiger, blau scheinender, nur dampfender, aber nicht aufkochender Wasserspiegel. Das Wasser hat eine Temperatur von 80° C. und die aufsteigenden Dämpfe riechen nach schwefliger Säure. Rings um das Bassin bemerkt man gelben Schwefelanflug und an den Seitenwänden des Wasserkraters hat sich Schwefel stellenweise in dicken Krusten abgelagert.

Am grossartigsten jedoch zeigt sich die Solfatarenthätigkeit am nördlichen Fuss der Terrassen in der Solfatare Ta Whakataratara. Er ist ein kraterähnlicher, gegen den See offener Kessel voll heissen, gelblich weissen und schlammigen Wassers, welches stark sauer reagirt, ein wahrer Schwefelsee, von dem sich ein heisser, schlammiger Strom in den See ergiesst. In den Klüften der den Schwefelsee einschliessenden Wände findet man prachtvolle Schwefelkrystalle abgesetzt.

196 **Temperatur der Seen und Flüsse.** In den Seen erleiden die oberen Wasserschichten ziemlich bedeutende Temperaturveränderungen; sie können im Winter zufrieren, während sie im Sommer oft eine Temperatur von 20 bis 25° erreichen; in der Tiefe findet dies jedoch nicht Statt. Saussure hat in dieser Beziehung die meisten Seen der Schweiz untersucht und die merkwürdige Thatsache bestätigt, dass in grossen Tiefen die Temperatur der Seen ungefähr 5° C. beträgt.

Im Sommer wirken zwei Ursachen, um die Temperatur der oberen Wasserschichten zu erhöhen; die warme Luft streicht über den Wasserspiegel hin, und die von der Sonne kommenden Wärmestrahlen werden, indem sie mehr oder weniger tief in das Wasser dringen, von demselben absorbirt. Die erwärmten Schichten mischen sich durch die Wellenbewegung, sie mischen sich aber nicht mit den Gewässern der Tiefe, weil sie wegen ihres geringeren specifischen Gewichtes oben schwimmen und weil selbst die heftigste Wellenbewegung doch nur auf eine geringe Tiefe merklich ist. Im Sommer und im Herbst muss also die Temperatur des Wassers in der Tiefe niedriger sein als an der Oberfläche.

Im Winter erkalten die oberen Wasserschichten, weil sie mit der kalten Luft in Berührung sind und weil sie namentlich in der Nacht ihre

Wärme ausstrahlen. Die erkaltende Schicht wird dichter, sie sinkt nieder und mischt sich mit dem wärmeren Wasser der tieferen Schichten; sobald sie sinkt, wird sie durch eine andere ersetzt, welche ebenfalls erkaltet und niedersinkt u. s. w. Wenn das Wasser kein Dichtigkeitsmaximum hätte, so würden auch im Winter die tiefsten Schichten die kältesten sein, die Oberfläche könnte also nicht eher die Temperatur von 0^0 annehmen, als bis die ganze Wassermasse bis auf den Boden eben so weit erkaltet wäre, und die Folge davon würde sein, dass die Seen bis auf den Grund zufrieren müssten. Weil das Wasser aber ein Dichtigkeitsmaximum hat, ist der Hergang ein anderer. Sobald die oberen Wasserschichten die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums erreicht haben, sinken sie nieder, andere Wassertheilchen treten an ihre Stelle, und so geht es fort, bis die ganze Wassermasse diese Temperatur hat. Wenn nun, sobald dies der Fall ist, die Kälte noch fortdauert, so wird die obere Wasserschicht durch ferneres Erkalten leichter; sie wird also fort und fort erkalten können, ohne niederzusinken; nun nimmt die Temperatur also mit der Tiefe zu bis zu $4,1^0$ C. Aus diesem Grunde findet auch die Eisbildung auf der Oberfläche Statt, die Dicke der Eisschicht kann nur sehr langsam zunehmen und nie eine bedeutende Stärke erlangen.

Diese Betrachtung zeigt uns auch, dass ruhige und sehr tiefe Gewässer nur dann zufrieren können, wenn eine strenge Kälte längere Zeit anhält; denn die ganze Wassermasse, welche während des Sommers über $4,1^0$ erwärmt worden ist, muss nach und nach an die Oberfläche steigen, um da ihren Wärmeüberschuss abzugeben; und wenn die wärmere Wassermasse eine Tiefe von 500 bis 600 Fuss hat, so ist klar, dass unter sonst gleichen Umständen eine weit längere Zeit nöthig ist, damit alle wärmeren Wassertheilchen der Reihe nach auf die Oberfläche steigen, um da bis zu $4,1^0$ zu erkalten, als wenn die Tiefe nur 20 bis 30 Fuss betrüge. An den Ufern und über Bänken von bedeutender Ausdehnung, überhaupt an allen Stellen von geringerer Tiefe kann sich deshalb auch schon eine Eisdecke bilden und eine bedeutende Dicke erlangen, während an den tieferen Stellen die Oberfläche des Wassers vom Eise frei bleibt.

Es ist nun die Frage, bis zu welcher Tiefe die Wärme des Sommers eindringen kann. Bis jetzt hat man darüber nur sehr unvollständige Angaben. Nehmen wir z. B. an, die Sommerwärme wäre nur bis zu einer Tiefe von 500 Fuss merklich, so müsste ein 10 000 Fuss tiefer See eben so leicht zufrieren wie ein anderer, welcher nur 500 Fuss tief ist; denn bei dem ersteren hat ja alles Wasser, welches mehr als 500 Fuss unter dem Spiegel sich befindet, das ganze Jahr hindurch die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums; es kann also auf die Erscheinungen der oberen Wasserschichten in keiner Weise wirken.

Wenn vor dem Gefrieren einmal die ganze Wassermasse eines Sees die Temperatur von $4,1^0$ haben muss, so muss dasselbe nach dem Aufthauen ebenfalls stattfinden, bevor die Temperatur der oberen Wasserschichten über die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums steigen kann.

In den Flüssen ist natürlich wegen der beständigen Bewegung, welche die Wasserschichten verschiedener Temperatur fortwährend mischt, die Vertheilung der Wärme weniger regelmässig als in den Landseen. Das Gefrieren beginnt in der Regel am Ufer; doch beobachtet man auch häufig, dass sich die Eisschollen mitten im Strome bilden und, anfangs ganz klein, bald eine bedeutende Grösse erlangen. Eine sehr auffallende Erscheinung ist die Bildung von Grundeis in den Flüssen; diese Eisbildung findet nicht auf der Oberfläche, sondern auf dem Boden Statt; wenn das am Boden gebildete Eis aufsteigt, so hebt es Steine und sonstige Gegenstände vom Boden mit in die Höhe; im Rheine werden oft die Ankerketten der Schiffbrücken durch das Grundeis in die Höhe gebracht.

Die wahrscheinlichste Erklärung des Grundeises hat Arago gegeben; seine Ansicht ist die, dass das Wasser oft unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne fest zu werden, dass aber die so stark erkalteten Wassertheilchen sogleich erstarren, wenn sie, durch die Strömung niedergezogen, mit den festen Körpern auf dem Boden in Berührung kommen.

197 **Temperatur der Meeresoberfläche.** Auf allen von Schiffen befahrenen Gegenden, auf den Aequatorialmeeren sowohl wie auf den Polarmeeren und den Meeren der gemässigten Zone sind zahlreiche Beobachtungen über die Temperatur der Luft, der Meeresoberfläche und der Meerestiefen angestellt worden, welche zahlreiche für die Wissenschaft höcht wichtige Resultate geliefert haben.

Ueber dem Meere, in grossen Entfernungen von den Küsten, sind die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur weit geringer als auf dem Lande. Auf dem Aequatorialmeere z. B. beträgt die Differenz des Maximums und des Minimums der Temperatur eines Tages höchstens 1 bis 2°, während sie auf dem Lande 5 bis 6° beträgt; in der gemässigten Zone, zwischen dem 25. und 50. Breitengrade, ist dieser Unterschied nur 2 bis 3°, während er auf dem Lande weit grösser ist.

Das Minimum der Temperatur findet auch auf dem Meere kurz vor Sonnenaufgang Statt, die Zeit des Maximums soll aber nach einigen Beobachtern dem Mittage näher liegen als auf den Continenten.

Vergleicht man die Temperatur der Luft, welche auf den Meeren ruht, mit der der oberen Wasserschichten, so ergeben sich folgende Resultate.

In den Tropen ist in der heissesten Tageszeit die Luft wärmer als das Wasser; wenn man aber die Temperatur der Luft und des Wassers von 4 zu 4 Stunden bestimmt, wie es der Capitän Duperrey gethan hat, so ergiebt sich, dass im Durchschnitt die Temperatur der Luft niedriger ist als die des Wassers. Unter 1850 Beobachtungen, welche er gemacht hat, fand er 1371mal das Meer und nur 479mal die Luft wärmer.

In höheren Breiten, vom 25. bis zum 50. Grade, ist die Luft nur

selten, in den Polargegenden fast nie wärmer als die Oberfläche des Meeres.

Nach einer Zusammenstellung von Kämtz ist die Temperatur der Meeresoberfläche für verschiedene Breiten im Durchschnitt die folgende:

Atlantischer Ocean.

Nördliche Hemisphäre.				Südliche Hemisphäre.			
Breite.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.
0⁰	25,9	42⁰	15,2	0⁰	25,9	42⁰	11,9
6	27,4	48	14,0	6	25,9	48	10,7
12	25,5	54	10,5	12	25,2	51	5,3
18	23,3	60	9,0	18	24,1	60	— 1,7
24	22,4	66	— 3,6	24	24,2	63	0,0
30	21,5	78	— 1,4	30	20,2	66	— 1,7
36	19,0	81	— 3,2	36	17,6		

Grosser Ocean.

Nördliche Hemisphäre.				Südliche Hemisphäre.			
Breite.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.	Breite.	Temp. C.
0⁰	27,6	42⁰	13,4	0⁰	27,6	42⁰	12,5
6	27,7	48	11,9	6	27,8	48	7,6
12	27,0	54	4,4	12	26,6	54	— 1,7
18	25,7	60	4,3	18	26,6	63	— 1,0
24	23,0	63	2,6	24	23,6		
30	21,7	69	0,55	30	19,6		
36	17,5			36	14,0		

Indischer Ocean.

Südl. Br.	Temp. C.	Südl. Br.	Temp. C.	Südl. Br.	Temp. C.
0	27,1	24	22,6	48	6,6
6	26,5	30	21,05	54	— 0,8
12	25,6	36	18,2	60	— 0,8
18	25,0	42	12,3	66	— 1,7

Maury hat versucht, die Monatsisothermen der Meeresoberfläche für den atlantischen Ocean zu construiren. Die Biegungen dieser Curven verlaufen aber so gekräuselt, dass man in ihnen eher die Zufälligkeit einzelner Beobachtungen als die Wahrscheinlichkeit des allgemeinen Mittels erkennt.

Die höchsten beobachteten Temperaturen der Meeresoberfläche sind:

Temp. C.	Ocean.	Breite.	Länge (Paris).	Beobachter.
29,2°	Atlantischer	3,1° n.		Kotzebue.
29,2	Indischer	6,1° n.	102° östl.	Meyen.
29,3	Grosser	2,3° n.	östl. d. Gallopagas.	Humboldt.
29,7	"	4,2° n.	82° 56′ w.	Holmfeldt.
	"	7° n.	81° w.	
30,4	"	5° s.	152° w.	Beechey.
	"	19° n.	113° o.	
30,6	"	2° 5′ n.	81° 24′ w.	Holmfeldt.

Im mexikanischen Meerbusen schwankt die Temperatur der Meeresoberfläche nach Berard zwischen 20 und 29·4 Grad Celsius.

Mit dem Namen der Isokrymen bezeichnet man diejenigen Curven, welche die Orte verbinden, an welchen die Temperatur der Meeresoberfläche während der 30 auf einander folgenden kältesten Tage gleich niedrig ist. Die Isokrymen stellen also nicht etwa den thermischen Zustand der Meeresoberfläche zu irgend einer Zeit dar, sondern sie geben ungefähr das Minimum der Temperatur an, bis zu welchem die Temperatur der obersten Meeresschichten an verschiedenen Orten herabsinkt; ihre Bedeutung ist also vorzugsweise eine zoologische. So bilden z. B. die nördliche und die südliche Isokryme von 16° R. die Gränzlinien für die Zoophyten. Auf Tab. XXII. a. sind die Isokrymen nach Dana als rothe Curven aufgetragen. Die beigeschriebenen Ziffern bezeichnen Reaumur'sche Grade.

198 **Temperatur der Meerestiefen.** In den Tropen nimmt die Temperatur der Meere mit der Tiefe ab, in den Polarmeeren dagegen nimmt sie mit der Tiefe zu.

Während in der heissen Zone die Temperatur der Meeresoberfläche 27° C. ist, sinkt dort die Temperatur des Wassers in der Tiefe noch unter + 4°. Die Beobachtungen, welche am Bord der Venus unter den Befehlen von Du Petit-Thouars gemacht wurden, ergaben für die Temperatur der Tiefe in der heissen und gemässigten Zone 3,2 bis 2,5° C.; unter 27° 47′ südl. Breite fand man z. B. im indischen Meere in einer Tiefe von 990 Faden (1 Faden = 6′ englisch = 1,83 Meter) die

Temperatur 2,8°, während sie auf der Oberfläche 23,8° war; bei Penedo und S. Pedro, 4° 23′ nördl. Breite und 28° 26′ westlich von Paris, an der Oberfläche 27°, in einer Tiefe von 1130 Faden aber 3,2°; Kotzebue fand in einer Tiefe von 525 Faden unter einer Breite von 32° 11′ die Temperatur des Wassers 2,5°.

Humboldt hat gezeigt, dass die Erkaltung der Meeresoberfläche während der Nacht nicht die Veranlassung der geringen Temperatur der Meerestiefen in den Tropen sein kann und dass sie nur die Folge von Meeresströmungen ist, welche in der Tiefe die Gewässer der Pole dem Aequator zuführen; deshalb findet man auch in der Tiefe des mittelländischen Meeres, wo diese untere Meeresströmung nicht eindringen kann, keine so niedrigen Temperaturen.

Die Beobachtungen von Mulgrave, Scoresby, Ross und Parry geben das übereinstimmende Resultat, dass in den Polarmeeren die Temperatur in der Tiefe höher ist als an der Oberfläche; in einer Tiefe von 700 Faden steigt die Temperatur des Wassers auf 2 bis 3° über den Nullpunkt, während sie an der Oberfläche unter 0° war. Beechey dagegen fand in der Behringsstrasse in einer Tiefe von 20 Faden die Temperatur des Wassers — 1,4°, während sie an der Oberfläche + 6,3° betrug; Beechey fand im Allgemeinen die Temperatur der Tiefe niedriger als die der Oberfläche.

Dass die Temperatur der Meerestiefen niedriger ist als 4° C., d. h. niedriger als die Temperatur der tieferen Wasserschichten in Süsswasserseen, rührt daher, dass die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums für das Meerwasser eine andere ist als für das süsse Wasser.

Durch den Salzgehalt des Wassers wird sowohl sein Gefrierpunkt als auch die Temperatur seines Dichtigkeitsmaximums erniedrigt. Despretz fand für den Gefrierpunkt des Meerwassers (das Wasser, mit welchem er experimentirte, war von Freycinet in der Südsee geschöpft) — 2,55°, für die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums aber — 3,67°; das Dichtigkeitsmaximum findet also bei einer Temperatur Statt, welche unter der des Gefrierpunktes liegt, es kann also nur beobachtet werden, wenn das Wasser bis unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne zu erstarren. Despretz untersuchte den Gang der Ausdehnung des Meerwassers, indem er Meerwasser-Thermometer der Art construirte und beobachtete, wie sie in meinem Lehrbuch der Physik besprochen worden sind (7. Aufl., 2. Band, S. 652).

Das Eismeer. Bei der niedrigen Temperatur, welche in der 199
Nähe der beiden Erdpole herrscht, muss in den Meeren jener Regionen eine massenhafte Eisbildung stattfinden, die wir nun etwas näher zu betrachten haben.

In den grönländischen Meeren begegnet man ungeheuren Eismassen, welche unter dem Namen der Eisfelder bekannt sind. Sie bilden eine zusammenhängende Eismasse, welche zwar nur 4 bis 6 Fuss über den

Meeresspiegel hervorragt und ungefähr 20 Fuss tief untergetaucht ist, aber von einer Ausdehnung, die sich vom obersten Mastkorbe eines Schiffes nicht übersehen lässt. Manchmal sind sie gegen 25 geographische Meilen lang und 12 Meilen breit.

Die um Grönland so zahlreichen Eisfelder stammen offenbar aus dem Norden und haben ihren Ursprung zwischen Spitzbergen und dem Nordpol.

Durch Meeresströmungen südwärts getrieben können solche Eisfelder dem heftigen Wogen des Meeres nicht widerstehen, sie zerbrechen in Stücke, welche 120 bis 150 Fuss Durchmesser haben und welche entweder theilweise mit einander in Berührung bleiben, oder sich so weit von einander entfernen, dass ein Schiff zwischen ihnen hindurchfahren kann. Solche vereinzelt schwimmende Eismassen, welche auf ihrer Wanderung nach Süden mehr und mehr zertheilt werden, nennt man loses oder offenes Eis oder auch Treibeis.

Hervorragungen auf schwimmenden Eisebenen nennt man Hummocks. Sie entstehen entweder dadurch, dass ein Stück gegen das andere gepresst und in dieser Lage mit seinem Rande aufwärts gekehrt anfriert, oder dadurch, dass die Bruchstücke eines Eisstückes über eine andere Eismasse hingeschoben werden. Solche Anhäufungen erreichen manchmal eine Höhe von ungefähr 30 Fuss.

Das Eis der Eisfelder und ihrer Trümmer ist, da es durch Gefrieren des salzhaltigen Meerwassers entstanden ist, wesentlich von dem Süsswassereis verschieden. Wenn Meerwasser friert so scheiden sich die in ihm enthaltenen Salze grösstentheils aus und es bleibt in dem schwammigen Eise, welches entsteht, nur dasjenige Salz zurück, welches in dem zwischen den Eistheilchen eingeschlossenen Salzwasser enthalten ist. Das aus Meerwasser entstandene Eis ist weiss und undurchsichtig, es ist weicher und leichter als das Eis süsser Gewässer, so dass, wenn es auf dem bis zu seinem Gefrierpunkt erkalteten Meerwasser schwimmt, der aus dem Wasser hervorragende Theil sich zu dem untergetauchten verhält wie 1 zu 4.

Die Oberfläche der Eisfelder ist meistens mit festem, durchsichtigem Süsswassereis bedeckt, dessen Ursprung sich leicht erklären lässt. Während des neun Monate lang in jenen Gewässern anhaltenden Frostes werden die Eisfelder mit einer 2 bis 3 Fuss dicken Schneeschicht bedeckt. Dieser Schnee schmilzt, wenn mit Ende Juni oder Anfang Juli Thauwetter eintritt. Das geschmolzene Schneewasser, welches grösstentheils nicht abfliessen kann, friert im nächsten Winter und verstärkt das Eisfeld an seiner oberen Fläche mit einer mehrere Zoll dicken Lage Süsswassereises, während von unten her Salzwassereis anschiesst.

Die um den Monat Juni bei Spitzbergen erscheinenden Eisfelder treiben in südwestlicher Richtung gegen Grönland hin und zwar legen sie in dieser Richtung in Monatsfrist oft einen Weg von 25 geographischen Meilen zurück, wenngleich der Wind indess in ganz verschiedenen

Richtungen blies; die Wanderung der Eisfelder ist also offenbar durch Meeresströmungen bedingt. Für die bei ihrem Vordringen nach Süden unter dem Einflusse des Wellenschlages zerstörten und in Treibeis verwandelten kommen stets neue Eisfelder von Norden her.

Oft haben kleinere Eisfelder von 1 bis 2 Quadratmeilen Oberfläche eine drehende Bewegung von solcher Geschwindigkeit, dass ein Punkt des Randes einen Weg von 3 bis 5 Fuss in der Secunde zurücklegt. Kommt ein solches Feld mit einem ruhenden oder gar mit einem in entgegengesetzter Richtung sich drehenden in Berührung, so entsteht ein furchtbarer Stoss. Das schwächere Feld wird unter heftigem Krachen zermalmt, wobei sich Eisstücke von ungeheurer Grösse so über einander schieben, dass sie 20 bis 30 Fuss über den Wasserspiegel hervorragen. Schon manches Schiff ist dadurch zu Grunde gegangen, dass es das Unglück hatte, zwischen zwei an einander stossende Eisfelder zu gerathen.

Auf Tab. XXII. a. sind die Gewässer, welche sich im Winter mit Eis bedecken, durch blaue Färbung ausgezeichnet.

In den grönländischen Gewässern begegnet man bisweilen auch schwimmenden Eismassen, welche sich von den Eisfeldern und ihren Trümmern dadurch unterscheiden, dass sie bei geringerem Umfange ungleich höher sind, als die Eisfelder, also auch bei weitem tiefer unter den Meeresspiegel hinabreichen. Diese, mit dem Namen von Eisbergen bezeichneten Massen bestehen nur aus durchsichtigem Süsswassereis und tragen auf ihrer Oberfläche nicht selten Steine und Grund.

Eisbergen, welche noch weit mächtiger sind, als die, welche in den grönländischen Gewässern vorkommen, begegnet man in der Baffinsbay, aus welcher sie durch die Davis-Strasse in den atlantischen Ocean eintretend nach Süden treiben. Oft 100 Fuss, ja selbst mit einzelnen Berggipfeln und Hörnern 150 Fuss hoch über den Meeresspiegel hervorragend, reichen sie im Meere bis zu einer Tiefe von 500 bis 600 Fuss, ja oft noch tiefer herab, wie sich am besten an gestrandeten Eisbergen nachweisen lässt. Couthoy fuhr im August 1827 an einem bei 540 Fuss Meerestiefe gestrandeten Eisberge vorbei, um welchen herum die See $^1/_4$ englische Meile weit getrübt war. Plötzlich stürzte er unter wahrhaft fürchterlichem Krachen auf die Seite. Im September 1822 sah Couthoy am östlichen Rande der Newfoundlands-Bank einen in einer Tiefe von 700 Fuss gestrandeten Eisberg.

Fig. 290 (a. f. S.) stellt einen schwimmenden Eisberg dar, welchen Parry auf seiner ersten Reise, und Fig. 291 (a. f. S.) zeigt die wunderlichen Gestalten von Eisbergen, welche Ross etwas nördlich von der Insel Disko an der Westküste von Grönland beobachtete. Fig. 292 endlich stellt einen Eisberg dar, welcher im April 1829 südlich von Madagaskar in einer südlichen Breite von 39° 13′ gesehen worden ist. Er schien ungefähr 2 englische Meilen im Umfang zu haben und ragte 150 Fuss über das

Wasser empor, im Ganzen musste er also eine Höhe von mehr als 1000 Fuss haben.

Fig. 290.



Fig. 291.

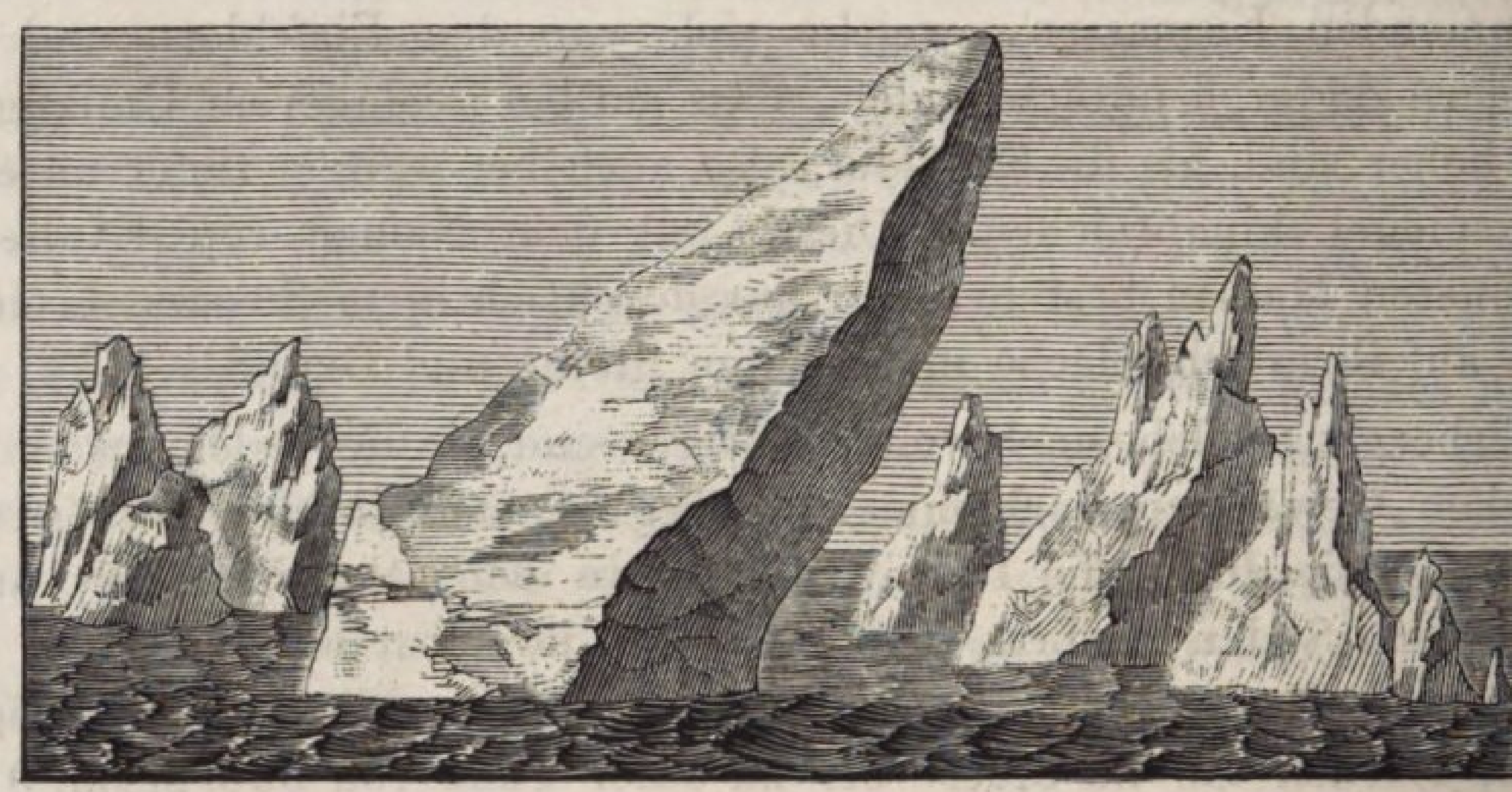
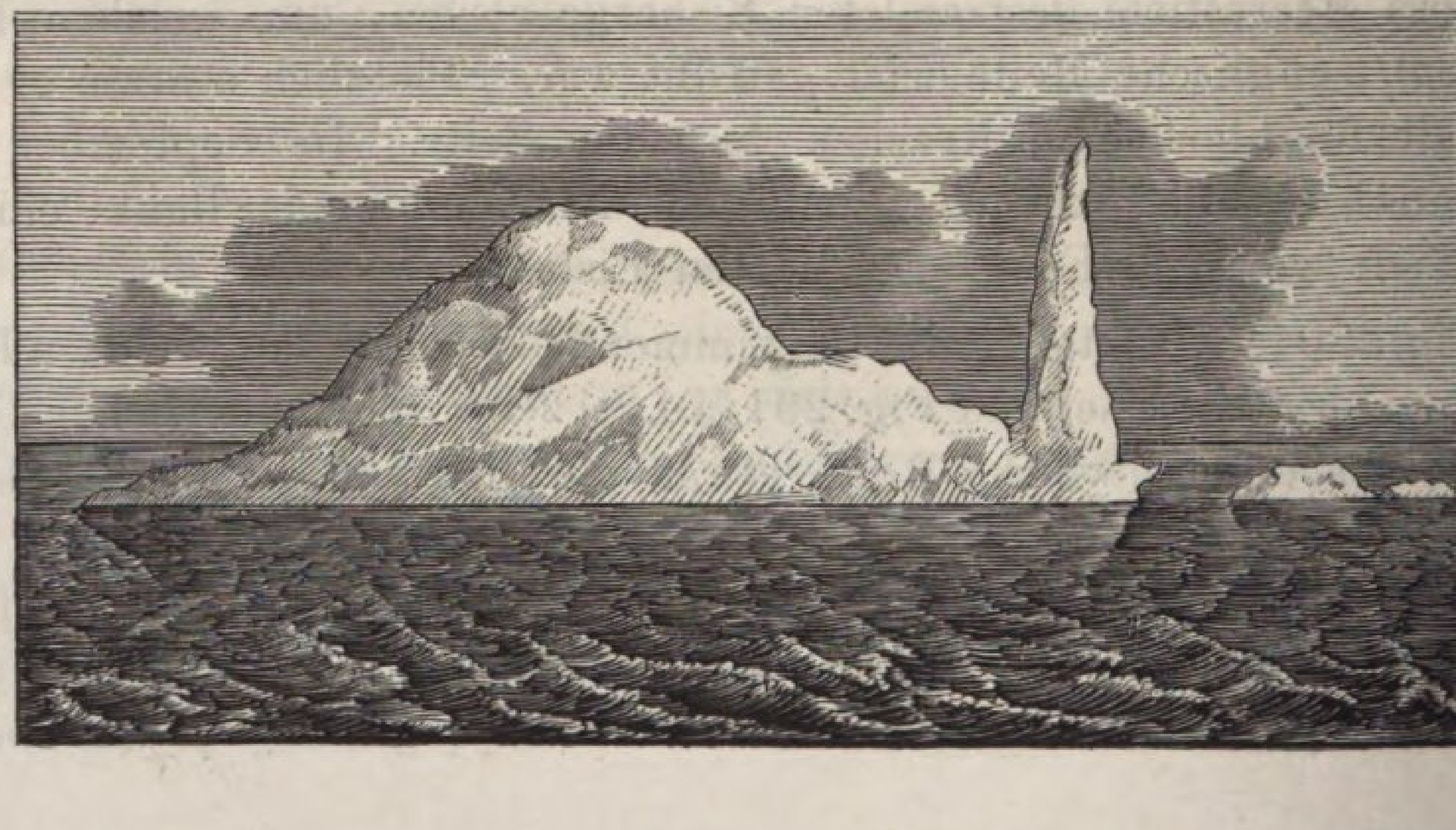


Fig. 292.



Die Eisberge dringen von beiden Polen her viel weiter gegen den Aequator vor als das Treibeis. Wiederholt sind Eisberge mitten im Golfstrom, ja noch jenseits desselben gesehen worden. Im Juli 1818 sind selbst in den westindischen Gewässern mächtige Eisberge erschienen. Auch antarktische Eisberge gelangen öfters in niedrige Breiten, wie der bereits besprochene und in Fig. 292 abgebildete Eisberg beweist; in der Nähe des Caps der guten Hoffnung hat man sie schon bis zum 35. Grade südlicher Breite angetroffen.

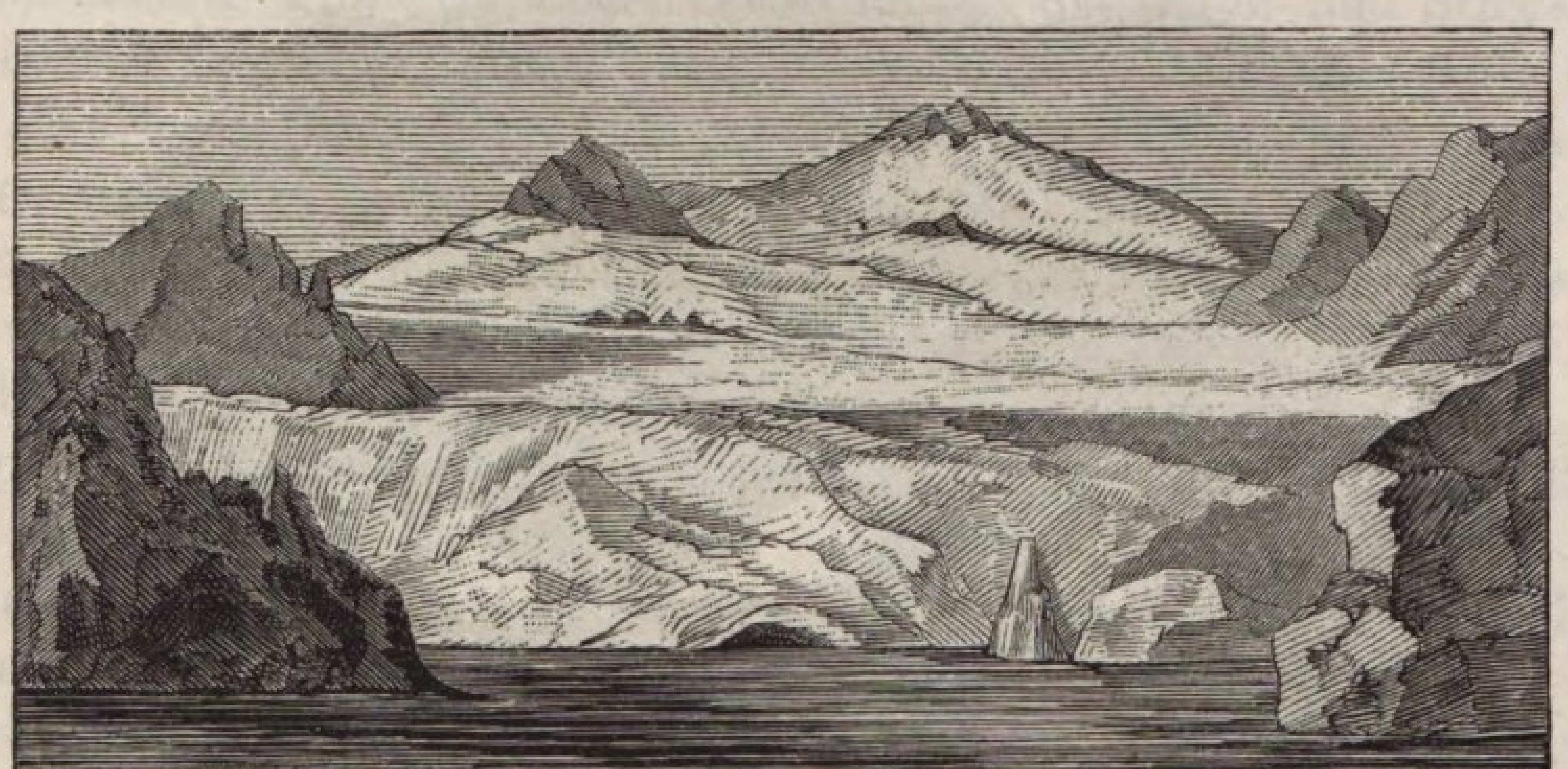
Die phantastischen Gestalten der Eisberge prangen in der herrlichsten Farbenpracht. Bei Nacht und bei Tag glänzen sie an den weissen Stellen wie Silber und an den übrigen in den lebhaftesten Regenbogenfarben.

Im Sommer, wenn das Eis durch die Wirkung der Sonnenstrahlen geschmolzen wird, strömt das Wasser in ungeheuren Wasserfällen von dem Kamme solcher Eisgebirge herab. Es ist dies ein majestätisches Schauspiel, welches die Schiffer jedoch nur aus der Ferne betrachten; denn die gigantischen, hoch in die Lüfte ragenden Eiszacken und Bogen bersten plötzlich und stürzen unter ungeheurem Krachen in das Meer herab.

Was nun den Ursprung dieser im Meere schwimmenden Eisberge betrifft, so unterliegt es keinem Zweifel, dass sie von Gletschern der Polarländer stammen, von denen sich, wenn sie bis ins Meer vorgedrungen sind, mehr oder minder bedeutende Massen lostrennen und im Meere fortschwimmen.

Fig. 293 zeigt einen der mächtigen Gletscher, welche auf Spitzbergen bis zum Meeresspiegel vordringen, und welcher hier mit einer

Fig. 293.



senkrechten 300 Fuss hohen Eiswand endet, deren herrlich grüne Farbe malerisch gegen das Weiss der benachbarten Schneeberge contrastirt. Oft lösen sich grosse Eismassen von dieser Wand los, welche krachend in das Meer hinabstürzen. Capitän Phipps beobachtete eine solche, welche in einer Tiefe von 140 Fuss Grund fasste und noch 50 Fuss über den Meeresspiegel hervorragte.

Weit mächtiger noch als die Gletscher Spitzbergens sind diejenigen, welche die zahlreichen Einbuchtungen im nördlichen Theile der Westküste Grönlands ausfüllen. Fig. 294 stellt einen sehr schönen 6 Seemeilen nördlich vom Vorgebirge Dudley Digges (76⁰ 12′ nördl. Breite) ge-

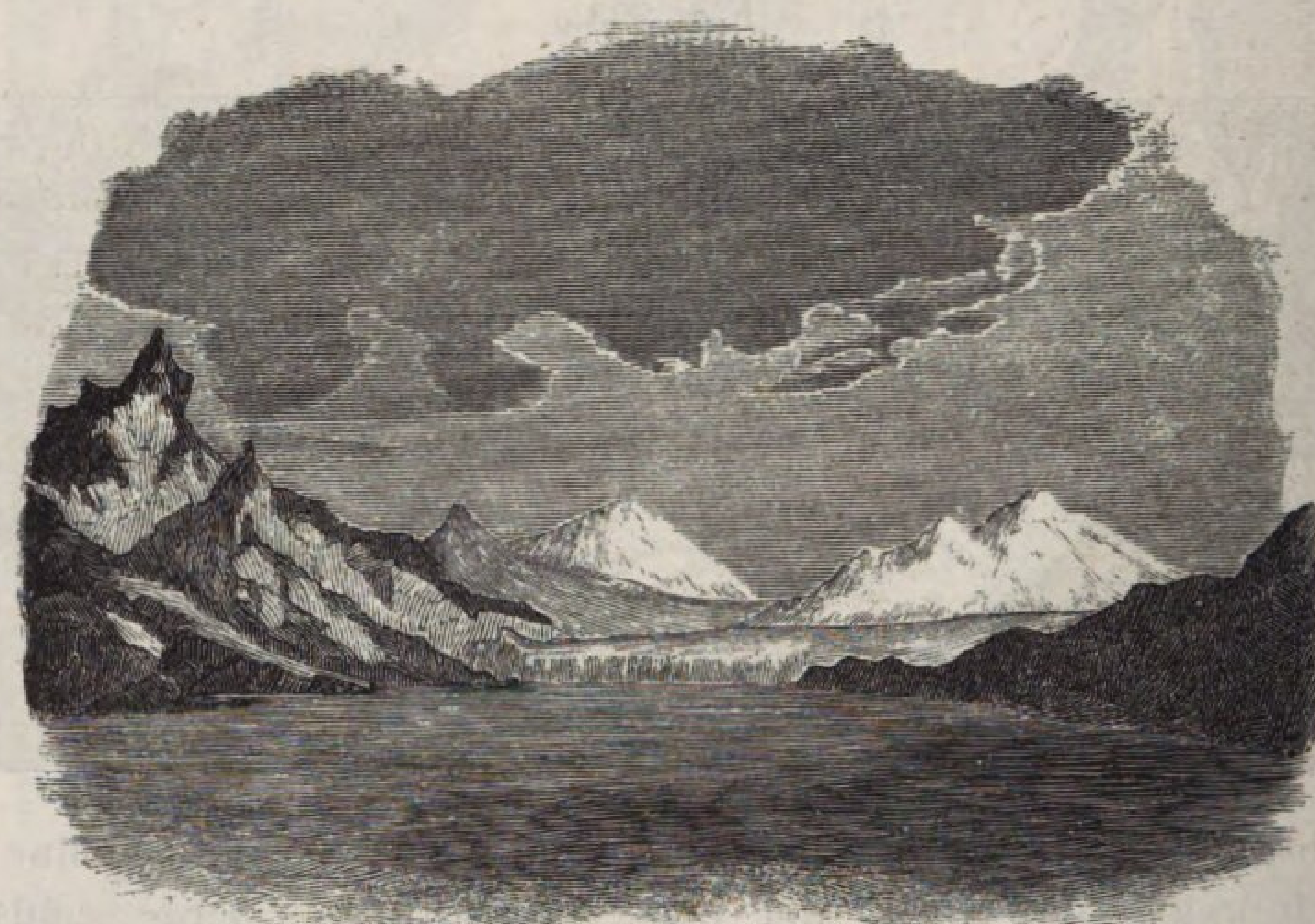
Fig. 294.



legenen Gletscher dar, welchen Capitän Ross abgebildet hat. Die Eismasse bedeckte einen Raum von 4 Quadratseemeilen, sie erstreckte sich 1 Seemeile weit in das Meer hinein und hatte eine Höhe von mindestens 1000 Fuss.

Fig. 295 ist die Ansicht eines mächtigen bis in das Meer herabsteigenden Gletschers in der Possessions-Bai der gebirgigen Insel Süd-Georgien.

Fig. 295.



Die Tiefe dieses Gletschers war beträchtlicher als die der gebrauchten Tiefleine (304 Fuss).

Zweites Capitel.

Das Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen.

Die Lufthülle der Erde. Die feste, zum Theil mit Wasser bedeckte Erdkugel ist mit einer gasförmigen Hülle umgeben, welche man mit dem Namen der Atmosphäre bezeichnet. Das Gasgemenge, aus welchem die Atmosphäre besteht, nennt man die Luft. 200

Die Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft sind Sauerstoffgas und Stickgas, zu deren Gemisch noch verhältnissmässig geringe Quantitäten von Kohlensäure und Wasserdampf gekommen sind. In 100 Raumtheilen Luft sind 79 Raumtheile Stickgas und 21 Raumtheile Sauerstoffgas enthalten. Dieses Verhältniss ist fast ganz constant. Der Gehalt an Kohlensäure ist an und für sich sehr gering, unterliegt aber verhältnissmässig grösseren Schwankungen als Sauerstoff und Stickstoff, indem 10 000 Raumtheile Luft 3,3 bis 5,3 Raumtheile Kohlensäure enthalten. Noch veränderlicher ist der Gehalt an Wasserdampf, wovon im folgenden Capitel ausführlicher gehandelt werden soll.

Der Luft kommt, wie dies in der Physik näher nachgewiesen wird, ebenso wie den festen und den tropfbar-flüssigen Körpern die Eigenschaft der Schwere zu. Die Lufttheilchen werden also von der Masse des Erdkörpers angezogen und dadurch auch verhindert, sich von der Erde aus in den Weltraum zu zerstreuen. Durch ihre Schwere wird die Atmosphäre zu einem integrirenden Theile der Erde, sie nimmt Theil sowohl an ihrer jährlichen wie an ihrer täglichen Bewegung.

Der Boden des Luftmeeres, welches wir Atmosphäre nennen, ist der Schauplatz alles organischen Lebens auf der Erde; nur durch Vermittelung der Luft wird das Thier- und Pflanzenleben unterhalten. Die Dichtigkeitsverhältnisse der Luft, ihre Bestandtheile, die Strömungen derselben, ihr Feuchtigkeitsgehalt und die durch denselben bedingten wässerigen Niederschläge, die Verbreitung der Wärme in der Atmosphäre sind also wesentliche Elemente für die Entwickelung der Flora sowohl wie der Fauna eines Landes.

Weil die Luft expansibel ist und das Volumen, welches eine gegebene Luftmenge einnimmt, von dem Drucke abhängt, welchem sie ausgesetzt ist, so ist klar, dass die Atmosphäre nicht überall gleiche Dichtigkeit haben kann, dass dieselbe vielmehr von unten nach oben fortwährend abnehmen muss, weil ja die tieferen Luftschichten einem weit grösseren Druck ausgesetzt sind als die höheren.

Dass die tieferen Luftschichten wirklich einen stärkeren Druck auszuhalten haben, das beweisen uns die in verschiedenen Höhen angestellten Barometerbeobachtungen. Am Meeresufer ist die Höhe der Barometersäule im Mittel 760 Millimeter; sobald man sich aber über den Meerespiegel erhebt, sinkt das Barometer um so mehr, je höher man steigt; zu Potosi, in einer Höhe von 13 220 Fuss, ist der mittlere Barometerstand nur noch 471 Millimeter (17,4 Zoll); in jener Höhe ist also der Luftdruck nur noch 0,62 von demjenigen, welcher am Ufer des Meeres stattfindet.

Dass die Luft in der Höhe weniger dicht ist als in der Tiefe, lässt sich gleichfalls durch Barometerversuche darthun. Vom Spiegel des Meeres aus muss man um 10,5 Meter steigen, wenn das Barometer um 1 Millimeter fallen soll; wenn man aber von Potosi aus noch höher steigt, so muss man sich um 16,8 Meter erheben, um ein Sinken des Barometers um 1 Millimeter zu erhalten. Die Dichtigkeit der Luft zu Potosi verhält sich also zu der Dichtigkeit der Luft am Ufer des Meeres wie 10,5 zu 16,8, d. h. im Niveau des Meeres ist die Luft 1,6mal dichter als zu Potosi, oder mit anderen Worten: die Dichtigkeit der Luft zu Potosi ist nur 0,62 von derjenigen, welche am Ufer des Meeres stattfindet.

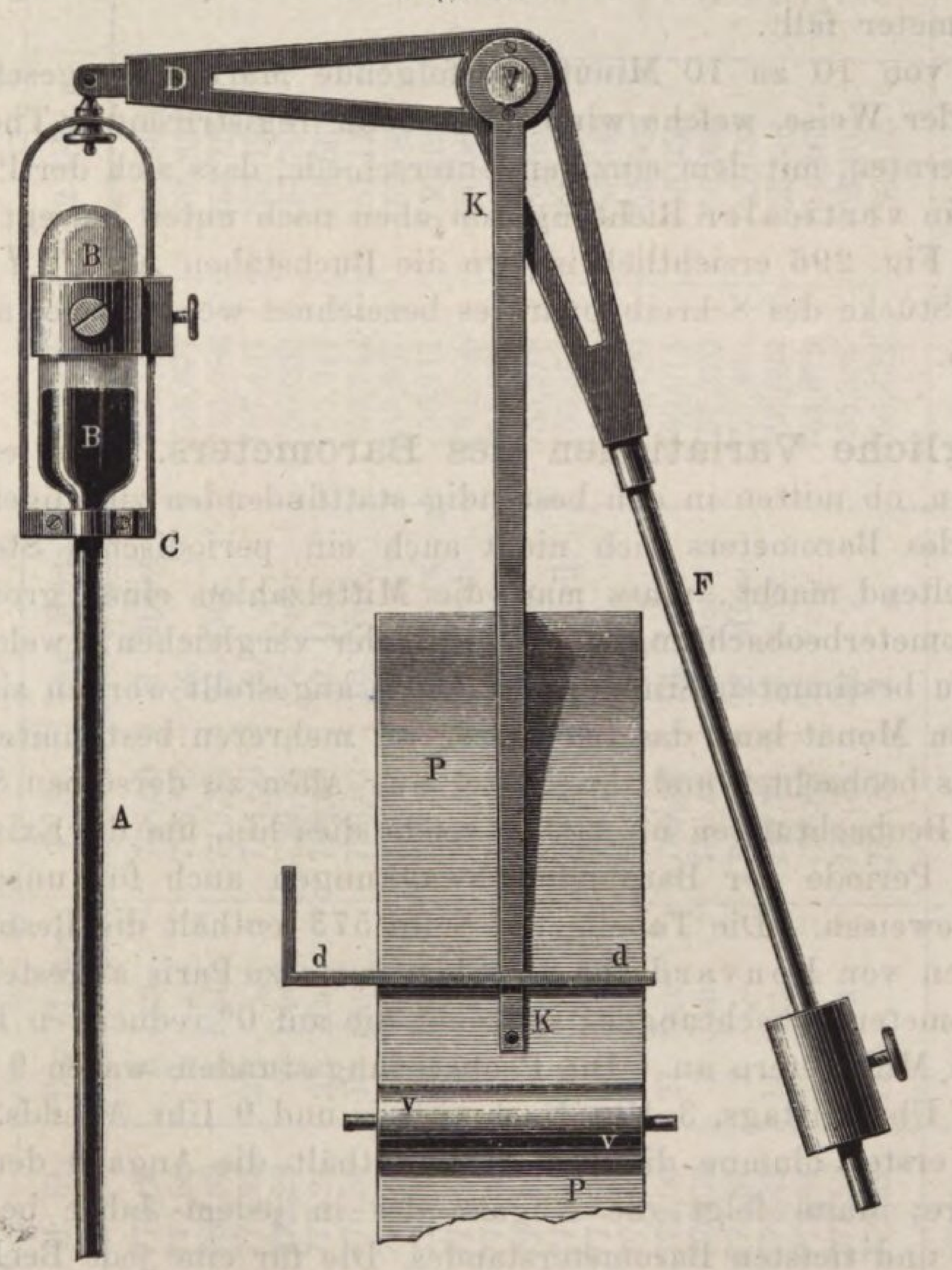
201 **Die Variationen des Barometerstandes.** Für einen und denselben Ort ist die Höhe der Barometersäule keineswegs eine bestimmte Grösse, sie ist vielmehr fortwährenden Schwankungen unterworfen, welche auf den ersten Anblick vollkommen unregelmässig erscheinen. Um die Gesetze der Barometerschwankungen zu ermitteln, muss das Barometer in ähnlicher Weise in regelmässigen Zeitintervallen beobachtet werden, wie dies beim Thermometer geschieht.

Um den Gang des Barometers möglichst genau verfolgen zu können, sollten diese Zeitintervalle möglichst kurz sein, eine Vervielfältigung der Beobachtungsstunden ist aber, wenn es sich um länger fortgesetzte Beobachtungsreihen handelt, ohne zahlreiches Beobachtungspersonal nicht möglich, man hat deshalb in neuerer Zeit vielfach versucht, registrirende Barometer zu construiren. Anfänglich wandte man zu diesem Zweck Heberbarometer an, in deren offenem Schenkel ein eiserner Schwimmer in das Quecksilber eintauchte. Der Schwimmer hing mittelst einer Schnur an einer Rolle, welche nach der einen oder der anderen Seite gedreht wurde, wenn der Schwimmer gehoben wurde oder sank; an dieser Rolle aber war endlich der Zeiger befestigt, dessen freies Ende den schreibenden Stift trug.

Diese Einrichtung war aber mit mannigfachen Unvollkommenheiten behaftet, welche Hipp dadurch zu vermeiden suchte, dass er das Quecksilber-Barometer durch ein Aneroïd-Barometer ersetzte. Secchi in Rom endlich, welcher auf der Pariser Industrieausstellung eine Reihe von ihm construirter ausgezeichneter meteorologischer selbst-registrirender Instrumente ausgestellt hatte, brachte mit dem besten Erfolge ein sogenanntes Wagebarometer in Anwendung, welches Wild auch für die Berner Sternwarte adoptirte.

Die Construction des Wagebarometers ist aus Fig. 296 ersichtlich. Der untere Theil A der Barometerröhre ist nur 6^{mm} weit, oben

Fig. 296.



aber ist ein Gefäss B von 32^{mm} innerem Durchmesser und 60^{mm} Höhe angeschmolzen. Das unten zu einer Spitze ausgezogene Ende der Röhre A taucht in ein 120^{mm} hohes, 50^{mm} breites, halb mit Quecksilber gefülltes hölzernes Gefäss von quadratischem Querschnitt, an welchem zwei gegenüberstehende Wände durch Spiegelplatten gebildet werden. Mittelst des Bügels C, der den engeren Theil der Röhre umschliesst, ist die Barometerröhre an den einen Arm D eines Wagebalkens angehängt, dessen

anderer Arm F nach unten gebogen ist und in eine Stahlstange mit verschiebbarem Laufgewicht ausläuft. Der Wagebalken ist um die scharfe Kante einer Stahlschneide drehbar, welche auf Stahlpfannen ruht, die in einen scheerenförmigen Träger eingelassen sind. An dem Wagebalken ist endlich der dünne federnde Zeiger K befestigt, welcher an seinem Ende die markirende Nadel trägt.

Wenn das Barometer steigt, so wird die im Rohre befindliche Quecksilbersäule schwerer, der Wagebalken wird also auf der Seite von D etwas niedergezogen, während sich F mit dem Laufgewicht hebt; in Folge davon wird natürlich auch das untere Ende des Zeigers K nach der rechten Seite hin bewegt, während es nach der Linken geht, wenn das Barometer fällt.

Die von 10 zu 10 Minuten erfolgende Markirung geschieht hier ganz in der Weise, welche wir bereits beim registrirenden Thermometer kennen lernten, mit dem einzigen Unterschiede, dass sich der Papierstreifen hier in verticaler Richtung von oben nach unten bewegt, wie dies auch aus Fig. 296 ersichtlich ist, wo die Buchstaben K, P, d und v die gleichen Stücke des Schreibapparates bezeichnet werden wie in Fig. 257, Seite 435.

202 **Tägliche Variationen des Barometers.** Um entscheiden zu können, ob mitten in den beständig stattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers sich nicht auch ein periodisches Steigen und Fallen geltend macht, muss man die Mittelzahlen einer grossen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmässig zu bestimmten Stunden des Tages angestellt worden sind. Wenn man einen Monat lang das Barometer an mehreren bestimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derselben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, so reicht dies hin, um die Existenz einer täglichen Periode der Barometerschwankungen auch für unsere Gegenden zu beweisen. Die Tabelle auf Seite 573 enthält die Resultate einer 20jährigen von Bouvard auf der Sternwarte zu Paris angestellten Reihe von Barometerbeobachtungen; sie giebt die auf 0° reducirten Barometerstände in Millimetern an. Die Beobachtungsstunden waren 9 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags, 3 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends.

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Angabe der Beobachtungsjahre; dann folgt die Angabe des in jedem Jahre beobachteten höchsten und tiefsten Barometerstandes. Die für eine jede Beobachtungsstunde angegebenen Zahlen sind das Mittel aus allen zu dieser Stunde im Laufe eines Jahres gemachten Beobachtungen; so ist z. B. 754,389 das Mittel aus allen im Laufe des Jahres 1819 um 3 Uhr Nachmittags beobachteten Barometerständen.

Man sieht aus dieser Tabelle, dass die für die verschiedenen Beobachtungsstunden gefundenen jährlichen Mittel ungleich sind; sie haben durchgängig den höchsten Werth für 9 Uhr Morgens, den niedrigsten

Jahr.	Höchster Stand.		Tiefster Stand.		Mittlere Barometerstände.				
	H. St.	Tag. Monat.	T. St.	Tag. Monat.	9 Uhr.	12 Uhr.	3 Uhr.	9 Uhr.	Mittel.
1819	770,89	1. Jan.	738,00	1. März.	754,104	754,863	754,389	754,789	754,786
1820	772,60	9. „	726,33	24. „	755,077	755,838	755,352	755,712	755,745
1821	780,82	6. Febr.	715,54	24. Dec.	755,986	755,755	755,285	755,764	755,697
1822	775,93	27. „	734,60	2. „	757,437	757,158	756,591	757,020	757,052
1823	772,23	7. Dec.	722,34	2. Febr.	755,033	754,796	754,353	754,633	754,704
1824	773,24	27. Mai.	728,66	12. Oct.	755,817	755,567	755,072	755,385	755,460
1825	776,35	10. Jan.	726,82	10. Nov.	757,742	757,430	756,873	756,962	757,252
1826	774,79	17. „	731,53	13. „	757,367	757,047	756,509	756,868	756,948
1827	773,48	28. Dec.	733,50	4. März.	756,211	755,995	755,484	755,847	755,884
1828	771,10	12. „	730,54	21. Febr.	756,306	756,084	755,616	755,982	755,997
1829	773,46	3. Feb.	734,68	7. Oct.	755,377	755,107	754,641	755,145	755,068
1830	771,90	1. Jan.	729,42	9. Dec.	755,918	755,691	755,255	755,772	755,646
1831	772,40	8. „	733,80	30. April.	755,356	755,157	754,676	755,176	755,091
1832	771,02	4. April.	738,05	30. „	757,893	757,548	757,025	757,597	757,515
1833	774,04	8. Jan.	730,68	1. „	755,790	755,508	754,988	755,521	755,452
1834	772,00	27. Dec.	739,46	10. Jan.	759,014	758,650	758,073	758,690	758,607
1835	776,63	2. Jan.	730,16	10. Oct.	757,270	756,990	756,494	757,114	756,967
1836	775,81	2. „	724,00	28. März.	755,363	755,038	754,578	755,165	755,036
1837	772,41	14. Oct.	737,74	13. Sept.	756,686	756,381	755,861	756,360	756,322
1838	772,31	31. Dec.	728,88	25. Febr.	754,679	754,365	753,896	754,355	754,324
1839	771,53	1. Jan.	735,77	20. „	755,386	755,102	754,631	755,048	755,041
1840	772,37	11. „	731,70	4. „	756,492	756,135	755,628	756,198	756,113
Mittel	773,51		731,01		756,287	756,009	755,512	755,957	755,941

um 3 Uhr Nachmittags; es spricht sich darin entschieden ein periodisches Sinken und Steigen aus; die nicht periodischen Schwankungen unberücksichtigt gelassen, sinkt demnach das Barometer ungefähr von 9 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags, um dann wieder zu steigen. Um 9 Uhr Morgens steht das Barometer im Durchschnitt um 0,775 Millimeter höher als um 3 Uhr Nachmittags.

Die Amplitude der periodischen Schwankungen ist dieser Tabelle zufolge sehr gering im Vergleich zu den unregelmässigen nicht periodischen Schwankungen; denn im Durchschnitt ist der höchste Barometerstand im Laufe eines Jahres 773,5 Millimeter, der niedrigste 731 Millimeter, ihre Differenz also 42,5 Millimeter, während die Differenz des täglichen Maximums und Minimums nur 0,775 Millimeter beträgt.

Um den Gang der täglichen Barometerschwankungen gehörig verfolgen zu können, muss eine Zeitlang wenigstens bei Tage stündlich das Barometer beobachtet werden. Die meisten Beobachtungsreihen dieser Art sind jedoch des Nachts nicht fortgesetzt; man kann aber mit ziemlicher Sicherheit aus den am Tage gemachten Beobachtungen auf den Gang des Barometers in der Nacht schliessen.

Die Tabelle auf Seite 575 enthält die Resultate solcher Beobachtungsreihen, welche an verschiedenen Orten angestellt wurden.

Nach dieser Tabelle ist in den Figuren (Taf. 19) der Gang der täglichen Barometervariationen für Cumana, Calcutta, Padua und Petersburg anschaulich gemacht.

Die Zeit ist zur Abscisse genommen; der Maassstab der Ordinaten aber ist vergrössert, weil die Amplitude der täglichen Variationen namentlich in höheren Breiten sonst wegen ihrer Kleinheit nicht sichtbar geworden wäre; die Entfernung je zweier auf einander folgender Horizontallinien stellt $^1/_2$ Millimeter dar.

Das Barometer sinkt also vom Mittag an und erreicht zwischen 3 und 5 Uhr sein erstes Minimum, es steigt dann und erreicht ein Maximum zwischen 9 und 11 Uhr Abends; ein zweites Minimum tritt gegen 4 Uhr Morgens, ein zweites Maximum gegen 9 Uhr Morgens ein.

Die Stunden, in welchen die tägliche Variation ein Maximum oder Minimum erreicht, nennt man W e n d e s t u n d e n.

Die Wendestunden sind bei uns nicht für alle Jahreszeiten dieselben, wie man aus der Tabelle auf Seite 576 ersehen kann, welche für Halle die Wendestunden in den verschiedenen Monaten des Jahres enthält.

Tab. 19.

Fig. 1. Cumana.

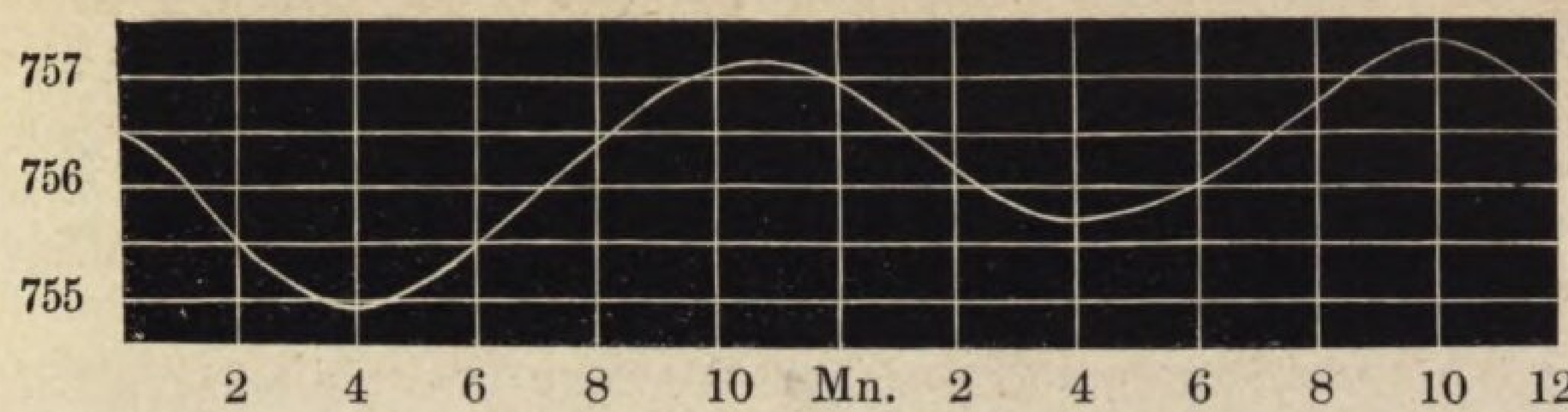


Fig. 2. Calcutta.

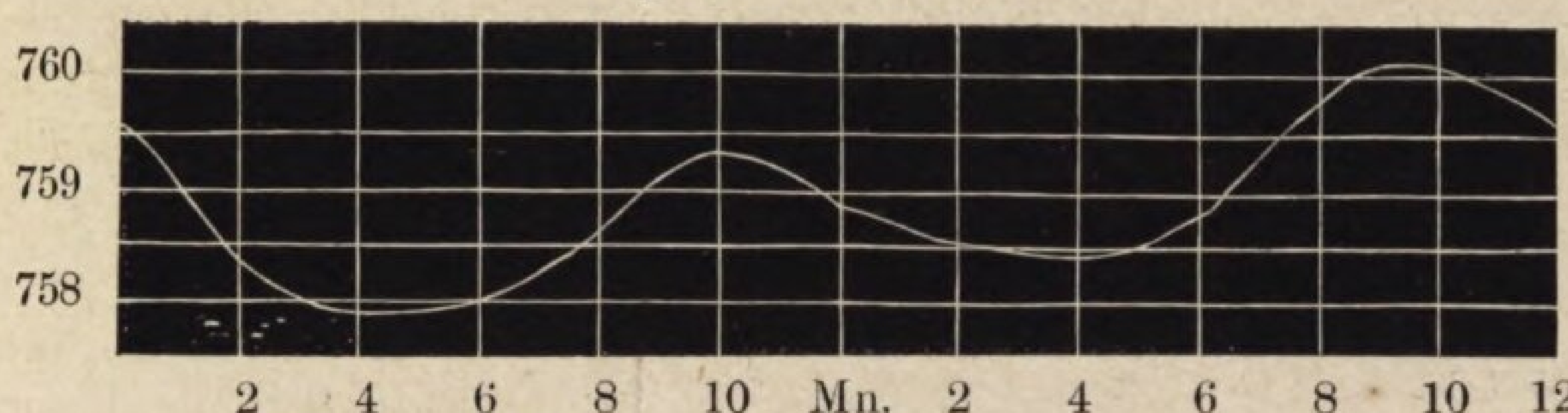


Fig. 3. Padua.

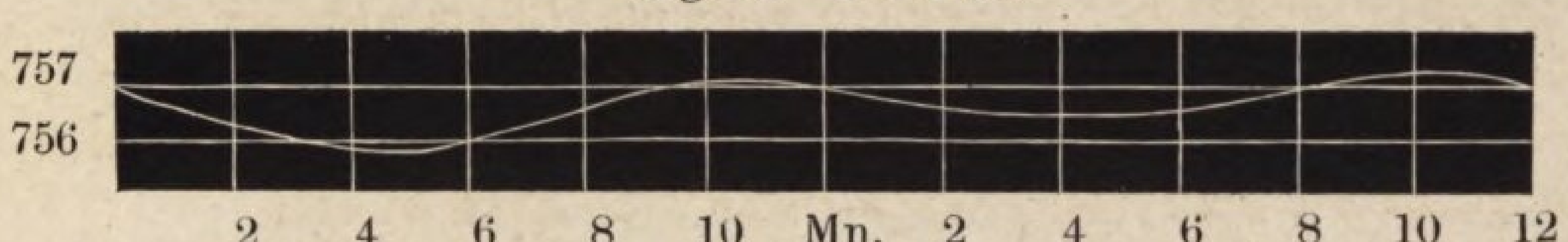


Fig. 4. Petersburg.

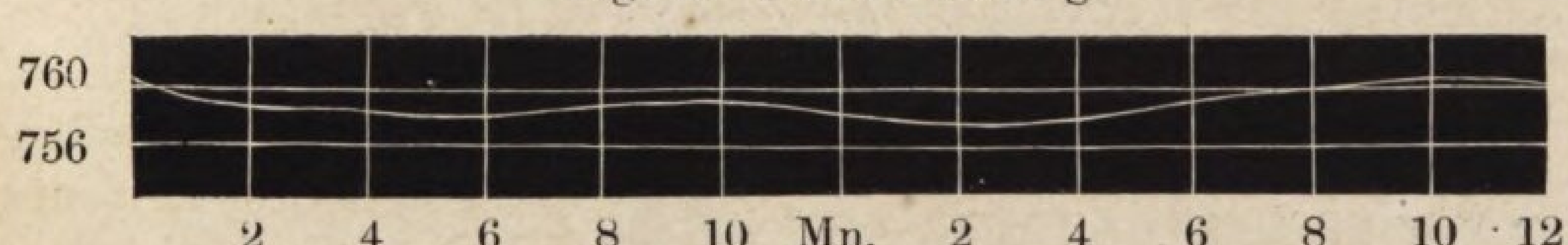


Fig. 5. Calcutta.

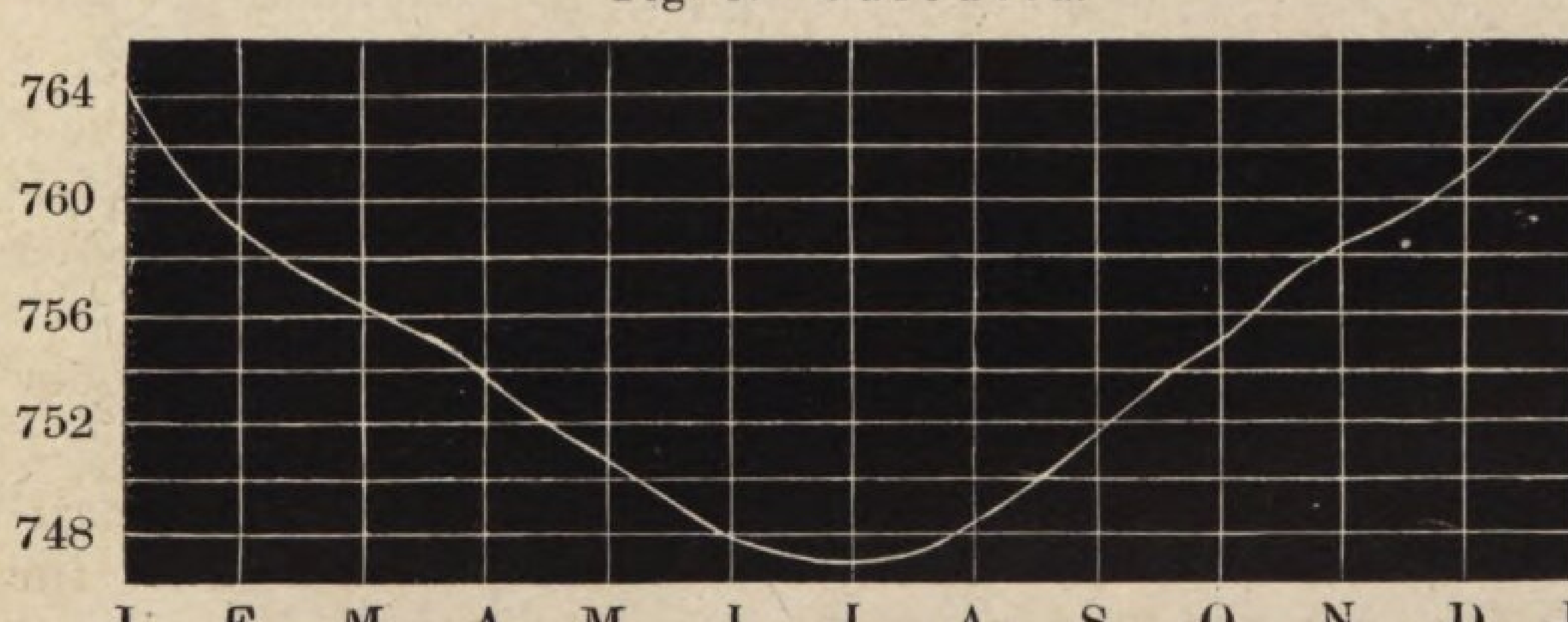
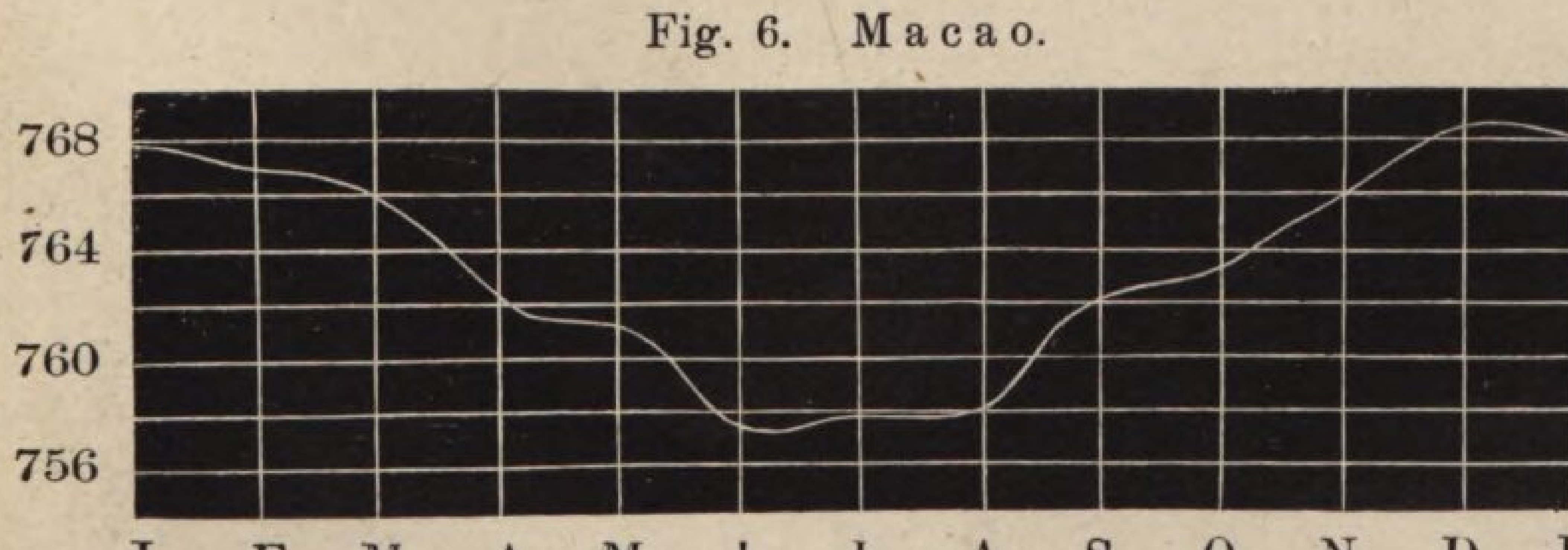


Fig. 6. Macao.



Orte.	Gr. Ocean.	Cumana.	La Guayra.	Calcutta.	Padua.	Halle.	Abo.	Petersburg.
Entfernung vom Aequator.	0° 0′	10° 28′ n.	10° 36′ n.	22° 35′ n.	45° 24′ n.	51° 29′ n.	60° 57′ n.	59° 66′ n.
Beobachter:	Horner.	Humboldt.	Boussingault.	Balfour.	Ciminello.	Kämtz.	Hallström.	Kupfer.
Mittags	752,35	756,57	759,41	759,61	757,02	753,29	759,31	759,47
1	751,87	755,99	758,91	759,22	756,85	753,11	759,29	”
2	751,55	755,47	758,41	758,39	756,67	752,99	759,27	759,38
3	751,15	755,14	758,12	758,12	756,54	752,89	759,25	”
4	751,02	754,96	758,06	757,91	756,47	752,84	759,25	759,32
5	751,31	755,14	758,10	757,93	756,46	752,86	759,27	”
6	751,71	755,41	758,40	758,01	756,50	752,91	759,29	759,31
7	751,93	755,81	758,90	758,02	756,63	753,02	759,34	”
8	752,35	756,21	759,19	758,54	756,79	753,14	759,39	759,32
9	752,74	756,59	759,69	759,24	756,92	753,24	759,44	”
10	752,85	756,87	759,93	759,33	757,02	753,31	759,47	759,36
11	752,86	757,15	759,98	759,09	757,02	753,29	759,47	”
Mitternacht	752,47	756,86	759,64	758,80	757,01	753,23	759,41	759,35
1	752,20	756,53	759,34	758,62	756,90	753,14	759,33	”
2	751,77	756,21	759,04	758,57	756,84	753,05	759,24	759,32
3	751,63	755,89	758,81	758,49	756,78	752,99	759,14	”
4	751,32	755,66	758,68	758,47	756,74	752,99	759,07	759,32
5	751,65	755,79	758,85	758,44	756,75	753,34	759,03	”
6	751,95	756,18	759,32	758,68	756,79	753,12	759,04	759,39
7	752,48	756,58	759,94	759,16	756,89	753,24	759,08	”
8	752,95	756,98	760,50	759,88	757,01	753,37	759,15	759,49
9	753,16	757,31	759,63	760,11	757,08	753,44	759,21	”
10	753,15	757,32	760,50	760,19	757,14	753,46	759,29	759,51
11	752,80	757,01	759,99	760,09	757,07	753,40	759,32	”

Monate.	Minimum.	Maximum.	Minimum.	Maximum.
Januar	2,81h. A.	9,17h. A.	4,91h. M.	9,91h. M.
Februar	3,43	9,46	3,86	9,66
März	3,82	9,80	3,87	10,10
April	4,46	10,27	3,53	9,53
Mai	5,43	10,93	3,03	9,13
Juni	5,20	10,93	2,83	8,73
Juli	5,21	11,04	3,04	8,48
August	4,86	11,66	3,06	8,96
September	4,55	10,45	3,45	9,71
October	4,17	10,24	3,97	10,07
November	3,52	9,85	4,68	10,08
December	3,15	9,11	3,91	10,18

Bestimmt man die Wendestunden, indem man das Mittel aus allen Monatszahlen nimmt, so ergeben sich für alle Orte sehr nahe dieselben Wendestunden. Nimmt man alle auf der nördlichen Halbkugel angestellten Beobachtungen zusammen, so ergeben sich im Durchschnitt folgende Wendestunden:

Minimum des Nachmittags	4	Uhr	5	Minuten.	
Maximum des Abends . . .	10	„	11	„	
Minimum des Morgens . .	3	„	45	„	
Maximum des Morgens . .	9	„	37	„	

Vergleicht man die Amplitude der täglichen Variationen, so findet man, wie schon angeführt wurde, dass sie in den Tropen am grössten ist, und dass sie um so mehr abnimmt, je weiter man sich von dem Aequator entfernt. In Cumana beträgt die Amplitude der täglichen Variationen 2,36, in Petersburg nur 0,2 Millimeter.

Auch die Jahreszeiten üben auf die Grösse der täglichen Variationen einen Einfluss aus; selbst in den Tropen ist die Amplitude derselben während der Regenzeit geringer. Im Winter ist die Amplitude der täglichen Schwankungen ein Minimum; zu welcher Zeit sie ein Maximum ist, hat man bis jetzt noch nicht genügend ermittelt. Die folgende Tabelle giebt die Werthe der täglichen Amplitude zu Halle und Mailand für die 12 Monate des Jahres an.

Monate.	Halle.	Mailand.
	mm.	mm.
Januar . . .	0,393	0,738
Februar . . .	0,476	0,718
März . . .	0,488	0,871
April	0,569	0,871
Mai	0,546	0,801
Juni	0,557	0,961
Juli	0,566	0,952
August . . .	0,569	0,812
September . .	0,546	0,817
October . . .	0,566	0,745
November . .	0,426	0,727
December . .	0,363	0,700

Jährliche Periode der Barometerschwankungen. Wenn 203
man den mittleren Barometerstand für die verschiedenen Monate des Jahres bestimmt, so findet man bald, dass er sich von einem Monate zum anderen bedeutend ändert, und man erkennt in diesen Veränderungen auch bald eine jährliche Periode des Sinkens und Steigens. Die beiden folgenden Tabellen enthalten die mittleren Barometerstände der verschiedenen Monate für 10 Orte der nördlichen Hemisphäre.

Monate.	Havannah.	Calcutta.	Benares.	Macao.	Cairo.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	765,24	764,57	755,41	767,93	762,40
Februar	760,15	758,86	752,91	767,01	„
März	760,98	756,24	751,19	766,08	759,43
April	759,58	753,83	747,33	761,93	760,10
Mai	758,19	750,81	745,01	761,64	758,23
Juni	760,67	748,10	741,13	757,31	754,42
Juli	760,67	747,54	740,65	757,91	753,90
August	757,33	748,53	743,31	757,91	754,06
September	757,46	751,85	745,98	762,22	756,70
October	758,19	755,20	750,35	763,37	759,70
November	761,25	758,37	753,06	766,17	760,76
December	763,62	760,59	755,57	768,65	761,82

Monate.	Paris.	Strassburg.	Halle.	Berlin.	Petersburg.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Januar	758,86	751,62	754,64	761,91	762,54
Februar	759,09	752,43	753,44	761,23	763,10
März	756,33	751,19	751,62	759,90	760,76
April	755,18	749,95	750,93	757,82	761,19
Mai	755,61	750,49	752,57	759,88	760,94
Juni	757,28	752,16	752,70	759,81	759,83
Juli	756,52	751,64	753,27	759,58	758,25
August	756,74	752,03	752,18	759,02	759,94
September	756,61	752,59	753,42	760,53	761,19
October	754,42	751,82	755,55	761,25	760,82
November	755,75	751,28	753,27	759,43	758,05
December	755,09	750,70	754,10	760,35	760,22

Um die Veränderungen des mittleren Barometerstandes im Laufe eines Jahres anschaulicher zu machen, folgt in Fig. 5 und 6 auf Tab. 19 die graphische Darstellung derselben für Calcutta und Macao, in Fig. 1 und 2 Tab. 20 für Paris und Petersburg. Die Entfernung zweier Horizontallinien entspricht einer Höhendifferenz von 2 Millimetern, in verticaler Richtung ist also der Maassstab dieser Figuren 4mal kleiner, als der Maassstab der Figuren 1 bis 4 auf Tab. 19.

In Calcutta, wo man eine achtjährige Reihe von Beobachtungen angestellt hat, spricht sich die jährliche Periode am entschiedensten aus. Im Januar ist der mittlere Barometerstand am höchsten, er sinkt beständig bis zum Juli, wo er sein Minimum erreicht, und steigt dann wieder bis zum Januar. Die Amplitude der jährlichen Periode beträgt für Calcutta 17 Millimeter; in Amerika scheint diese Amplitude, welche ebenfalls mit der Entfernung vom Aequator abnimmt, geringer zu sein.

Auch in höheren Breiten ist der mittlere Barometerstand im Winter höher als in allen übrigen Jahreszeiten, allein die Differenz des grössten und des kleinsten Monatsmittels ist weit geringer als in den Tropen. Ausserdem aber ist in grösserer Entfernung vom Aequator der periodische Gang des mittleren Barometerstandes im Laufe des Jahres auch weniger regelmässig, wie man sowohl aus der Tabelle, als auch in den Figuren sehen kann.

204 **Einfluss der Höhe über dem Meeresspiegel auf die periodischen Schwankungen des Barometers.** Da das Barometer die Grösse des Druckes anzeigt, welchen die über uns befindliche Luft ausübt, so werden die Schwankungen des Barometers auf hohen Bergen, wo eine Luftsäule von weit geringerer Höhe und Dichtigkeit drückt, auch geringer sein müssen als in der Tiefe, und es lässt sich erwarten, dass

Tab. 20.

Fig. 1. Paris.

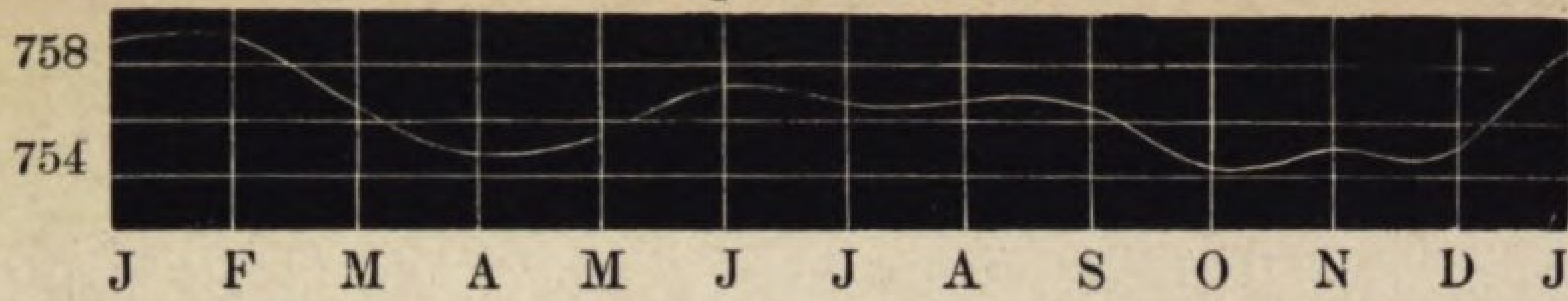
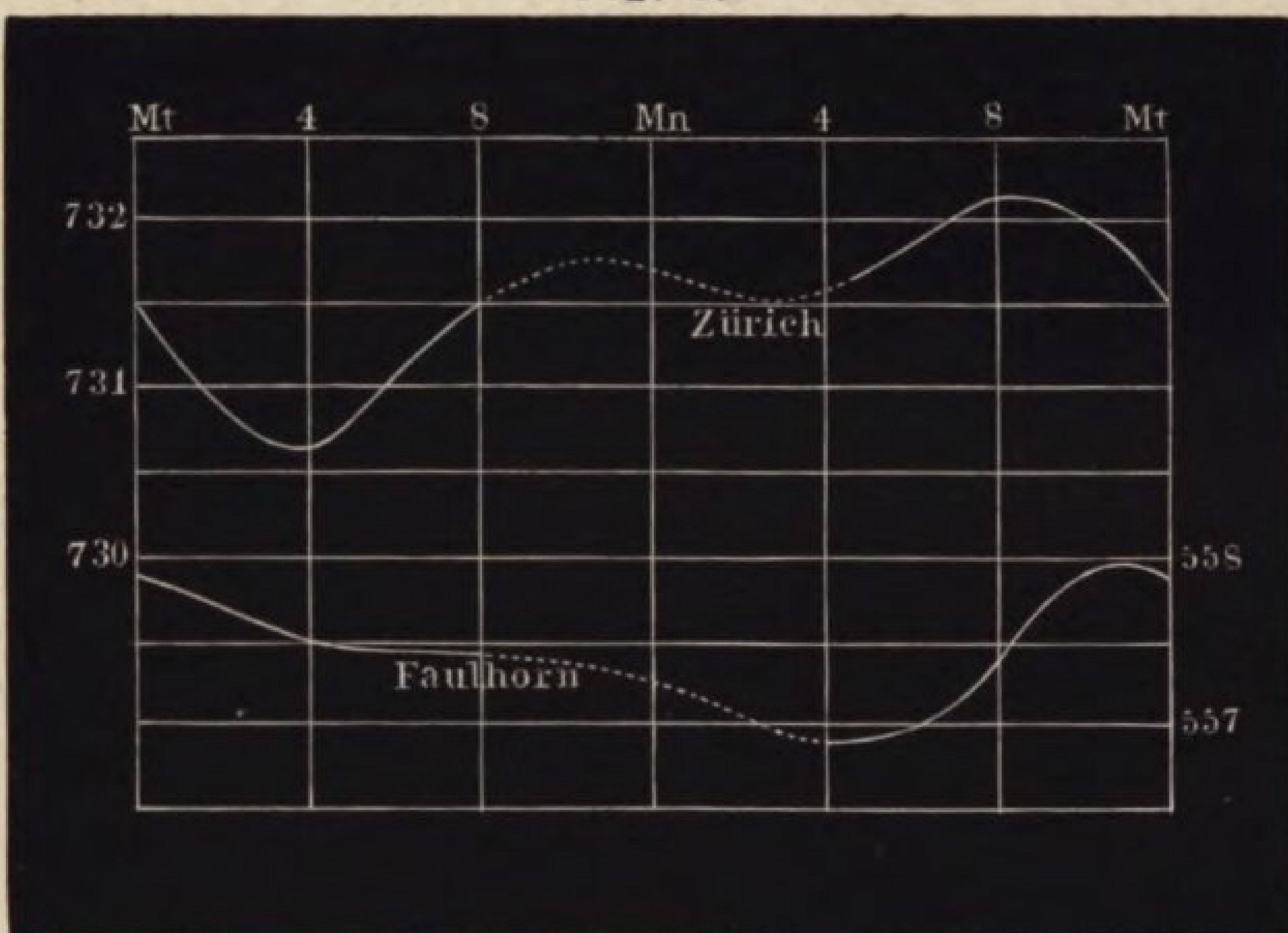


Fig. 2 Petersburg.



Fig. 3.



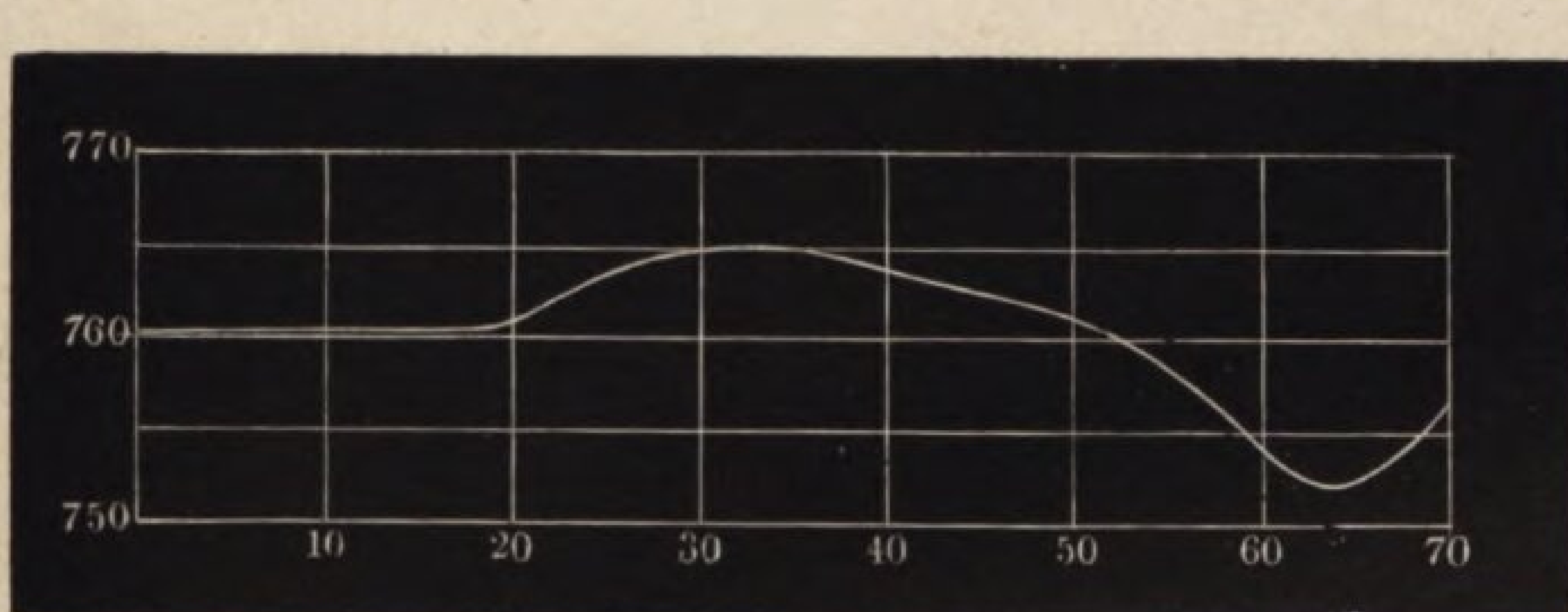
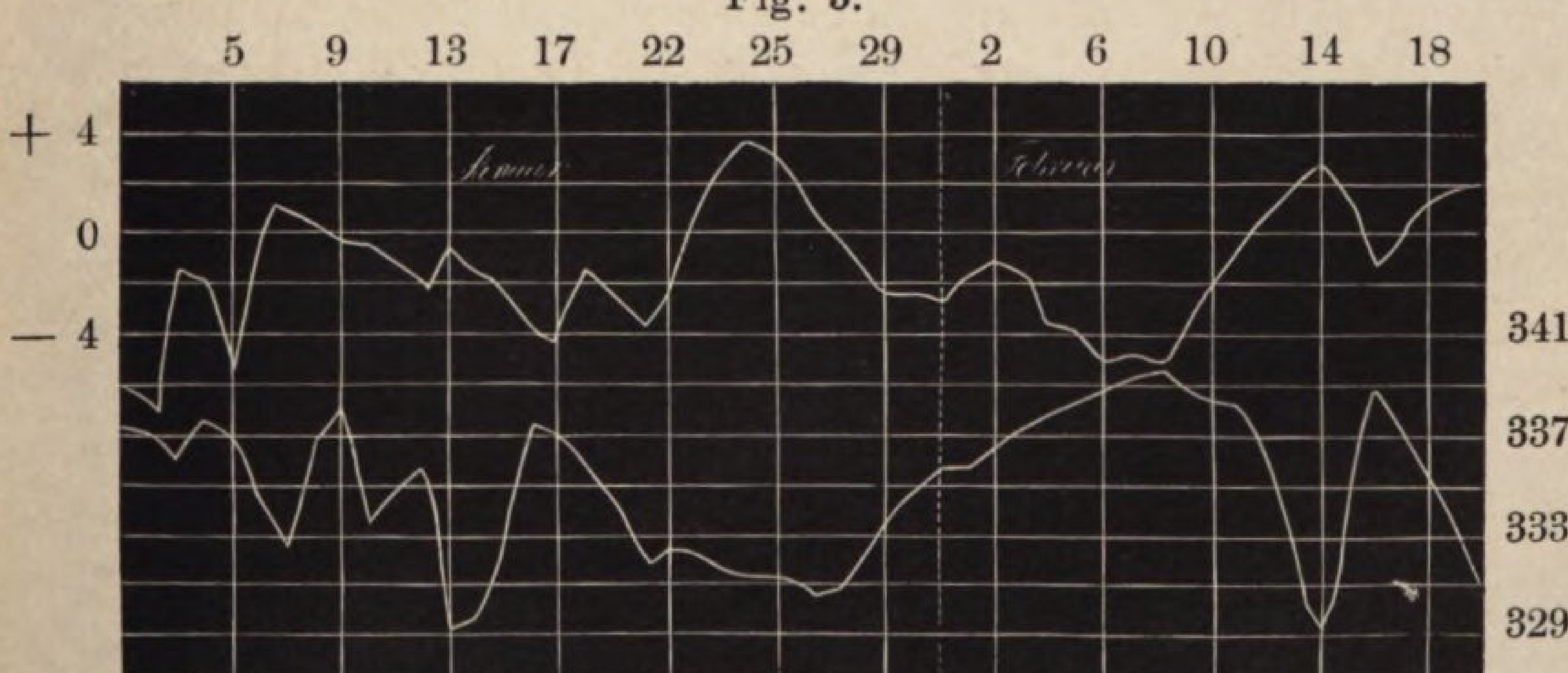


Fig. 5.



in gewissen Höhen über dem Meeresspiegel die Veränderungen des Luftdrucks fast ganz unmerklich werden. Dass die Erhebung über das Niveau des Meeres wirklich einen solchen Einfluss ausübt, geht aus den Barometerbeobachtungen hervor, welche Kämtz auf dem Rigi und auf dem Faulhorn angestellt hat, und welche in der folgenden Tabelle mit den gleichzeitigen mittleren Barometerständen der verschiedenen Tagesstunden zu Zürich zusammengestellt sind. Die Zahlen von 10 Uhr Abends bis 5 Uhr Morgens sind durch Interpolation bestimmt.

Stunden.	Zürich.	Rigi.	Unterschiede.	Zürich.	Faulhorn.	Unterschiede.
	mm 720 +	mm 610 +	mm 100 +	mm 730 +	mm 550 +	mm 170 +
Mittag.	4,08	4,36	9,72	1,58	7,88	3,70
1	3,92	4,37	9,57	1,25	7,75	3,50
2	3,82	4,38	9,45	0,99	7,66	3,33
3	3,72	4,34	9,38	0,71	7,59	3,13
4	3,63	4,34	9,30	0,64	7,50	3,15
5	3,61	4,30	9,31	0,76	7,49	3,27
6	3,76	4,38	9,38	0,92	7,51	3,41
7	3,95	4,40	9,57	1,21	7,41	3,80
8	4,22	4,57	9,87	1,52	7,43	4,10
9	4,55	4,70	9,85	1,72	7,44	4,27
10	4,61	4,72	9,90	1,79	7,41	4,39
11	4,68	4,68	10,00	1,77	7,36	4,41
Mitternacht.	4,58	4,58	10,01	1,72	7,28	4,44
1	4,43	4,45	9,99	1,63	7,19	4,45
2	4,28	4,30	9,98	1,54	7,08	4,47
3	4,19	4,17	10,03	1,51	6,96	4,55
4	4,18	4,09	10,10	1,54	6,90	4,65
5	4,25	4,03	10,23	1,66	6,90	4,76
6	4,31	4,03	10,28	1,79	7,05	4,76
7	4,38	4,05	10,33	1,97	7,16	4,80
8	4,41	4,13	10,28	2,13	7,36	4,77
9	4,38	4,16	10,22	2,20	7,62	4,57
10	4,29	4,23	10,06	2,12	7,89	4,24
11	4,19	4,34	9,86	1,87	7,99	3,97

Hier zeigt sich der Einfluss der Höhe auf die Grösse der täglichen Variationen entschieden. Die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Stande ist in Zürich 1,56 Millimeter, während sie auf dem Faul-

horn nur 1,09 Millimeter ist. Ausser der Grösse der Schwankungen zeigt sich aber auch im Gange des Barometers eine grosse Verschiedenheit, wie man am besten aus Fig. 3 Tab. 20 ersieht, in welcher die täglichen Variationen auf dem Faulhorn und in Zürich durch Curven anschaulich gemacht sind. Die Zahlen rechts beziehen sich auf die untere, die Zahlen links auf die obere Curve. Man sieht, dass am Nachmittag das Barometer an beiden Orten sinkt; in Zürich steigt es aber von 4 Uhr an bis gegen 10 Uhr Abends, während auf dem Faulhorn das Sinken bis 5 Uhr Morgens fortdauert; nun steigt auf dem Faulhorn das Barometer wieder bis gegen Mittag, während es in Zürich schon um 9 Uhr Morgens seinen höchsten Stand erreicht; auf dem Faulhorn ist also im Laufe des Tages nur ein entschiedenes Maximum und ein entschiedenes Minimum wahrzunehmen.

205 **Mittlere monatliche Schwankungen.** Es ist bereits erwähnt worden, dass in unseren Gegenden die periodischen Schwankungen des Barometers durch die zufälligen, nicht periodischen maskirt sind, dass man die periodischen Schwankungen nur durch Mittelzahlen aus lange fortgesetzten Beobachtungsreihen nachweisen kann. Wir wollen uns jetzt zur Betrachtung der nicht periodischen Schwankungen wenden und zunächst den Einfluss der Jahreszeiten auf die Grösse derselben kennen lernen.

Nach den vom physikalischen Vereine zu Frankfurt a. M. angestellten meteorologischen Beobachtungen sind Folgendes die Unterschiede des höchsten und tiefsten Tagesmittels für jeden der zwölf Monate vom Jahre 1837 bis 1843 in Pariser Linien:

	1837	1838	1839	1840	1841	1842	1843	Mittel.
Januar	9,5	10,5	15	13,5	15	10,5	18	13,1
Februar . . .	13	15	10,5	15,5	10	13	13	13
März	6,5	12,5	10	8,5	13	12	7,5	10
April	8,5	8	6,5	8	8	11,5	8	8,3
Mai	6	7,5	7	11	7,5	6,5	7	7,5
Juni	3,5	5,5	7,5	5,5	8,5	5	5	5,8
Juli	4,5	5,5	4,5	6,5	7	7	8,5	6,2
August	8,5	7,5	8,5	6	8	7	5,5	7,3
September . .	8	9,5	9,5	9,5	6	8	9	8,3
October . . .	11	8,5	4	13	11	13	11	10,2
November . .	13	12	7,5	14	16,5	14	7	12
December . .	9,5	9,5	9,5	12,5	10	8,5	7,5	9,6

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass die Grösse der nicht periodischen Schwankungen im Sommer kleiner ist als im Winter, besonders deutlich ersieht man dies aus den Mittelzahlen der letzten Columne. Nimmt man das Mittel aus den 12 Zahlen der letzten Columne, so erhält man den Werth 9,28 Pariser Linien oder 20,4 Millimeter als Durchschnittswerth für die Differenz der monatlichen Extreme.

Dies ist jedoch noch nicht der wahre Mittelwerth für die Grösse der monatlichen Schwankungen; denn wir haben ja nicht die Differenz des im Laufe eines Monats beobachteten höchsten und niedrigsten Barometerstandes, sondern nur den Unterschied des höchsten und des tiefsten mittleren täglichen Barometerstandes in Rechnung gebracht.

Die folgende Tabelle enthält die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen an verschiedenen Orten der Erde.

Batavia	6°	12′	S.	2,98mm
Tivoli (St. Domingo) . .	18	35	N.	4,11
Havannah	23	9		6,38
Calcutta	22	34		8,28
Teneriffa	28	26		8,48
Funchal (Madeira) . . .	22	37		10,42
Cap der guten Hoffnung .	33	55	S.	12,45
Rom	41	53	N.	17,15
Montpellier	43	36		18,02
Mailand	45	28		19,24
Wien	48	13		20,53
Prag	50	5		21,54
Paris	48	50		23,66
Mannheim	48	29		23,66
Moskau	55	46		24,05
Berlin	52	31		25,24
New-Haven (Connecticut)	41	10		25,29
Jakutzk	62	2		25,92
London	51	31		27,88
Petersburg	59	56		29,24
Nain (Labrador) . . .	57	8		32,35
Christiania	59	55		33,05
Naes (Island)	64	30		35,91

Die nicht periodischen Barometerschwankungen sind also nicht allein im Winter grösser als im Sommer, sondern sie sind auch in kalten Ländern bedeutender als in heissen, d. h. sie nehmen im Allgemeinen um so mehr zu, je weiter man sich vom Aequator entfernt.

Solche Linien auf der Erdoberfläche, welche alle Orte mit einander verbinden, für welche die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen dieselbe ist, heissen isobarometrische Linien.

Wir können hier den Lauf der isobarometrischen Linien nicht weiter verfolgen und müssen uns auf einige allgemeine Bemerkungen beschränken. Aus der eben mitgetheilten Tabelle ersieht man, dass die isobarometrischen Linien durchaus nicht mit den Parallelkreisen zusammenfallen. Calcutta und Havannah liegen nahe in gleicher Breite, und doch sind die Barometerschwankungen in Calcutta weit bedeutender. An der Ostküste von Nordamerika sind die zufälligen Schwankungen des Barometers viel grösser als an den Westküsten von Europa, sie sind in New-Haven und dem 11° 21′ nördlicher gelegenen Berlin fast gleich, die isobarometrischen Linien steigen also von den Ostküsten Nordamerikas nach Europa und entfernen sich dann um so weiter vom Aequator, je weiter man ins Innere des Continents der alten Welt kommt.

206 **Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres.** Man glaubte früher, dass der mittlere Barometerstand am Meeresspiegel allenthalben derselbe sei; dies ist jedoch nicht der Fall, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, in welcher die mittleren Barometerstände verschiedener nicht merklich über dem Meeresspiegel gelegener Orte zusammengestellt sind.

Cap der guten Hoffnung .	33° S.	763,01^{mm}
Rio Janeiro	23	764,03
Christianborg	5° 30′ N.	760,10
St. Thomas	19	760,51
Macao	23	762,99
Madeira	32 30	765,18
Neapel	41	762,95
Paris	49	761,41
Edinburgh	56	758,25
Reikiavig	64	752,00
Spitzbergen	75 30	756,76

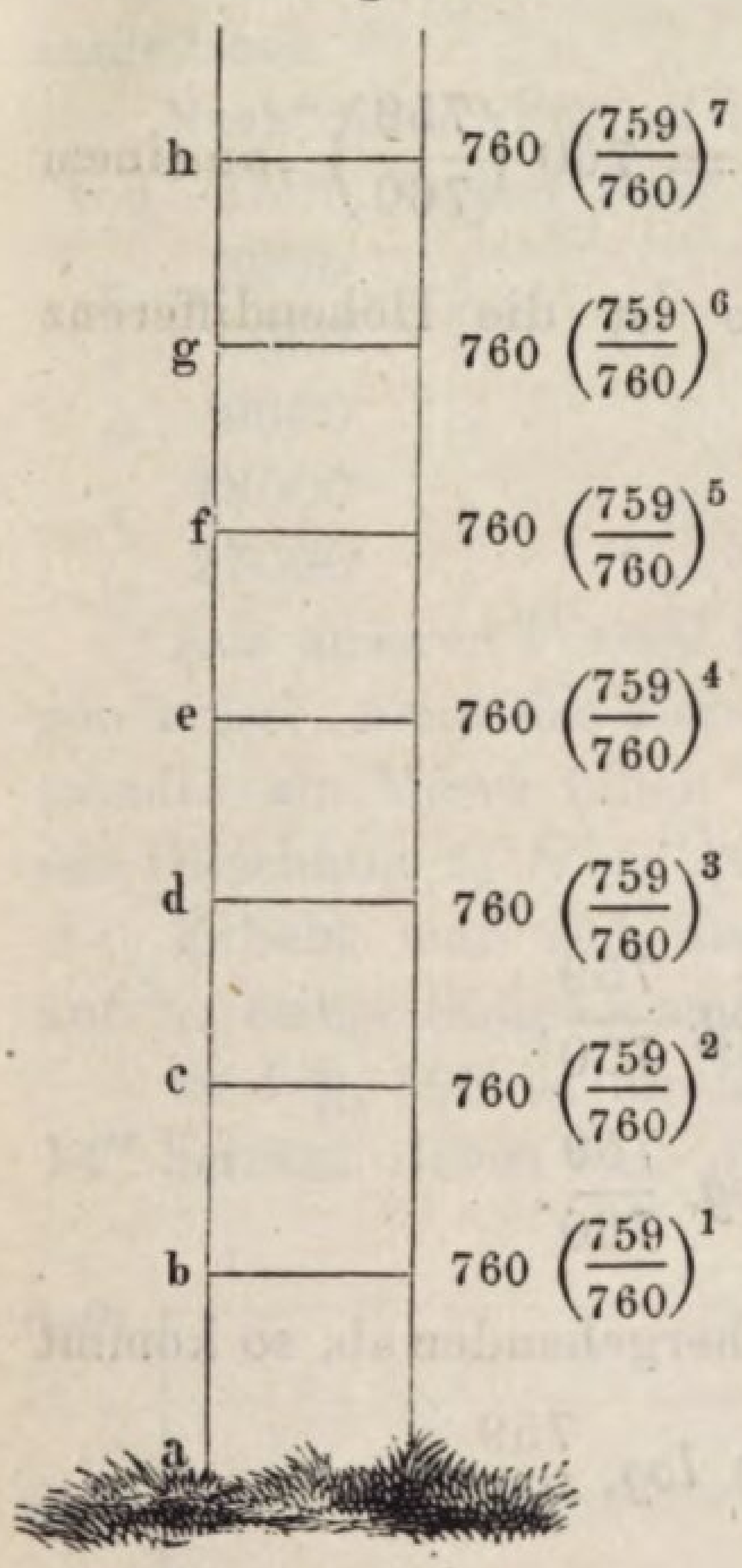
Wir sehen aus dieser Tabelle, wie dies in Fig. 4 auf Tab. 20 auch graphisch dargestellt ist, dass der mittlere Barometerstand am Meere vom Aequator nach dem Nordpole hin erst wenig, dann rascher zunimmt, dass er zwischen dem 30. und 40. Breitengrade sein Maximum erreicht, dann weiter nach Norden hin wieder abnimmt und zwischen dem 60. und 70. Grade nördlicher Breite am kleinsten ist.

207 **Barometrische Höhenmessung.** Es ist eine schon bald nach Entdeckung des Barometers constatirte Thatsache, dass das Barometer um so mehr sinkt, je mehr man sich mit demselben über den Spiegel des Meeres erhebt. Die Höhendifferenz zweier Orte ist also eine Function der gleichzeitig an denselben beobachteten Barometerstände oder mit anderen Worten: wenn man an zwei nicht allzuweit von einander entfernten Stationen zu gleicher Zeit den Stand des Barometers beob-

achtet hat, so kann man danach den Höhenunterschied der beiden Stationen berechnen. Suchen wir die dazu nöthige Formel zu entwickeln.

Es ist schon im §. 200 erwähnt worden, dass man von einem Orte aus, wo der Barometerstand 760 Millimeter beträgt, um 10,5 Meter steigen müsse, wenn das Barometer um 1 Millimeter, also bis auf 759 Millimeter (oder, was dasselbe ist, auf $760^{759}/_{760}$ Millimeter) fallen soll. Ohne merklichen Fehler können wir annehmen, dass die ganze Luftschicht von 10,5 Meter Höhe überall gleich dicht sei, wir können annehmen, dass sie so dicht sei als am Boden. Es sei a, Fig. 297, ein Punkt auf dem Boden, b ein 10,5 Meter höher gelegener Punkt, und jeder der folgenden Punkte c, d, e u. s. w. liege immer wieder um 10,5 Meter höher als der nächst tiefere. Da nach dem Mariotte'schen Gesetze die Dichtigkeit der Luft dem Drucke proportional ist, unter welchem sie sich befindet, so muss die Luftschicht bc weniger dicht sein als ab, und zwar werden sich die Dichtigkeiten dieser Schichten verhalten wie die Barometerstände in a und b, d. h. die Dichtigkeit der Schicht bc ist $^{759}/_{760}$ von der Dichtigkeit der Schicht ab. Wenn man also von b nach c steigt, so wird das Barometer nicht abermals um 1 Millimeter, sondern nur um $^{759}/_{760}$ Millimeter fallen. Der Barometerstand in c ist demnach:

Fig. 297.



$$760\,\frac{759}{760} - \frac{759}{760} = \frac{759}{760}(760-1) = \frac{759^2}{760} = 760\left(\frac{759}{760}\right)^2 \text{ Millimeter.}$$

Auf diese Weise können wir weiter schliessen, dass sich die Dichtigkeiten der Schichten bc und cd verhalten wie die Barometerstände in b und c, dass also die Schicht cd $^{759}/_{760}$mal leichter ist als die Schicht bc. Wenn also die Luftschicht bc einer Quecksilbersäule von $\frac{759}{760}$ Millimetern das Gleichgewicht hält, so kann die Schicht cd nur eine Quecksilbersäule von $\frac{759}{760} \times \left(\frac{759}{760}\right) = \left(\frac{759}{760}\right)^2$ Millimeter tragen, und wenn man sich von c bis d erhebt, so muss das Barometer um $\left(\frac{759}{760}\right)^2$ Millimeter fallen. In d ist also der Barometerstand

$$760\left(\frac{759}{760}\right)^2 - \left(\frac{759}{760}\right)^2 = 760\left(\frac{759}{760}\right)^3 \text{ Millimeter.}$$

Dies reicht hin, um das Gesetz zu übersehen: in *e* wird der Barometerstand $760\left(\frac{759}{760}\right)^4$, in *f* wird er $760\left(\frac{759}{760}\right)^5$ sein etc. Wenn man sich also *n*mal 10,5 Meter über *a* erhebt, so ist der Barometerstand $760\left(\frac{759}{760}\right)^n$.

Ist an einem Orte der Barometerstand $B = 760\left(\frac{759}{760}\right)^m$, an einem anderen höher gelegenen $b = 760\left(\frac{759}{760}\right)^n$, so ist die Höhendifferenz beider Orte $(n - m)$ mal 10,5 Meter.

Aus den Gleichungen

$$B = 760\left(\frac{759}{760}\right)^m$$

$$b = 760\left(\frac{759}{760}\right)^n$$

folgt

$$log.\ B = log.\ 760 + m\ .\ log.\ \frac{759}{750},$$

$$log.\ b = log.\ 760 + n\ .\ log.\ \frac{759}{760}.$$

Zieht man die letzte Gleichung von der vorhergehenden ab, so kommt

$$log.\ B - log.\ b = (m - n)\ log.\ \frac{759}{760}$$

und

$$log.\ B - log.\ b = (n - m)\ 0{,}0005718$$

$$n - m = \frac{log.\ B - log.\ b}{0{,}0005718}.$$

Da aber die Höhendifferenz *H* der beiden fraglichen Orte gleich 10,5 $(n - m)$ Meter ist, so haben wir auch

$$H = 10{,}5\ \frac{log.\ B - log.\ b}{0{,}0005718}$$

$$H = 18363\ (log.\ B - log.\ b)$$

oder endlich

$$H = 18363\ log.\ \frac{B}{b}\ \text{Meter} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Für alt französisches Maass hat man die Gleichung

$$H = 56521\ log.\ \frac{B}{b}\ \text{par. Fuss} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

anzuwenden.

Da der Quotient $\frac{B}{b}$ und folglich auch die Differenz $log. B - log. b$ unverändert bleibt, mit welcher Einheit auch die Barometerstände B und b gemessen sein mögen, so kann man nach Belieben, sowohl in Gleichung 1) als auch in Gleichung 2) die Barometerstände B und b in Millimetern oder in Pariser Linien oder in irgend einem anderen Maasse ausdrücken.

Nach dieser Formel ist der mittlere Barometerstand einer Höhe

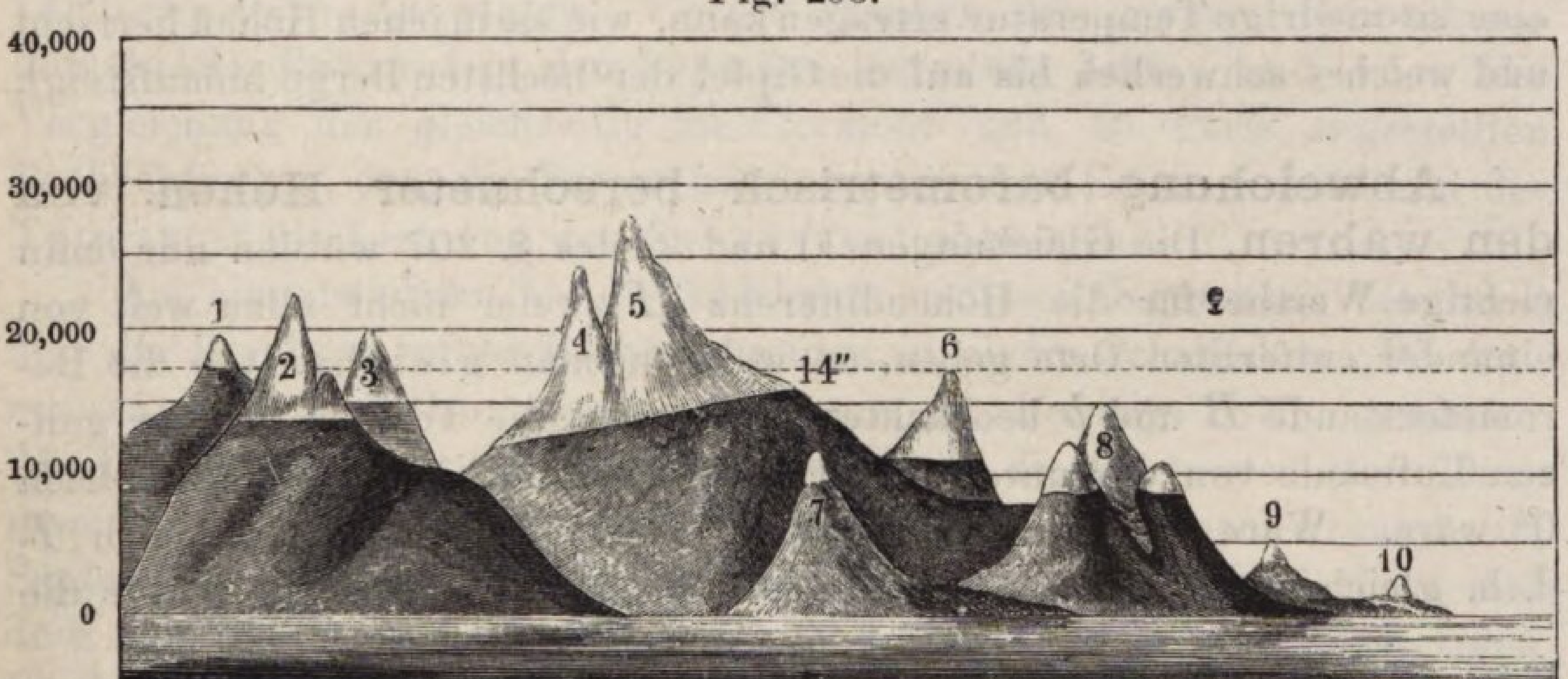
von	1500	Pariser Fuss	über dem Meere	715^{mm}	oder	26″	5‴	Par. M.		
„	3000	„	„ „ „ „	673	„	24	10	„		
„	6000	„	„ „ „ „	595	„	22	0	„		
„	9000	„	„ „ „ „	527	„	19	6	„		
„	18000	„	„ „ „ „	365	„	13	6	„		
„	27000	„	„ „ „ „	252	„	8	5	„		

Aus unserer Formel ergiebt sich nun auch leicht, wie hoch man steigen müsse, wenn das Barometer auf die Hälfte des normalen Barometerstandes am Meere fallen soll. Setzt man $B = 760$, $b = 380$, so folgt aus Gleichung 2) $H = 16972$ Pariser Fuss.

Erhebt man sich abermals um 16972 Fuss, so muss das Barometer auf $^1/_4$ seines Standes am Meere fallen u. s. w.

In Fig. 298 ist die Höhe, für welche der mittlere Barometerstand 14″ beträgt, durch eine punktirte Horizontallinie bezeichnet.

Fig. 298.



Setzt man in unserer Gleichung 2) $B = 760$ und $b = 1$, so folgt $H = 162448$. In einer Höhe von 160000 Fuss, also von nahe 8 geographischen Meilen, ist also der Luftdruck bereits so gering, dass er nur noch eine Quecksilbersäule von 1 Millimeter zu tragen im Stande ist; in einer Höhe von 8 Meilen über dem Meeresspiegel ist also die Luft schon so verdünnt, wie wir es kaum mit den besten Luftpumpen erreichen können.

In den unteren Schichten der Atmosphäre wiegen ungefähr 113 Cubikfuss Luft 1 Pfund, eben so viel wiegen in einer Höhe von 8 Meilen erst 84000 Cubikfuss.

208 **Höhe der Atmosphäre.** So nimmt denn die Dichtigkeit der Luft mit zunehmender Erhebung über den Boden fortwährend ab, bis sie allmälig unmerklich wird und selbst auf die empfindlichsten physikalischen Instrumente nicht mehr zu wirken vermag. Was von Luft über die Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen hinausgeht, ist jedenfalls ein verschwindend kleiner Bruchtheil der übrigen Atmosphäre, und deshalb nimmt man in der Regel an, dass die Atmosphäre eine Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen habe.

Eben weil die Luft expansibel ist, kann sie nicht eine scharfe obere Gränze haben wie die Gewässer, welche die Erdoberfläche bedecken. Es findet eben in den höheren Luftregionen ein allmäliger Uebergang zur unendlichen Verdünnung Statt, und deshalb ist auch die Höhe der Atmosphäre keine absolut gegebene und präcis bestimmbare; man kann höchstens sagen, in welcher Höhe die Dichtigkeit der Luft unmerklich wird.

Nehmen wir in diesem Sinne die Höhe der Atmosphäre zu 10 bis 12 geographischen Meilen an, so sehen wir, dass diese Höhe sehr gering ist im Vergleich zum Durchmesser der Erde, welcher nahe 1700 geographische Meilen beträgt. Um sich ein klares Bild von dem Verhältniss der Erdkugel zu ihrer Atmosphäre zu machen, denke man sich eine Kugel von 1 Fuss Durchmesser, welche von einer nicht ganz 1 Linie dicken luftigen Hülle umgeben ist.

Aber weit unter der angegebenen Gränze verschwindet die letzte Spur des organischen Lebens, welches weder eine solche Luftverdünnung, noch eine so niedrige Temperatur ertragen kann, wie sie in jenen Höhen herrscht und welches schwerlich bis auf die Gipfel der höchsten Berge hinaufsteigt.

209 **Abweichung barometrisch berechneter Höhen von den wahren.** Die Gleichungen 1) und 2) des §. 207 würden nur dann richtige Werthe für die Höhendifferenz H zweier nicht allzu weit von einander entfernten Orte geben, an welchen man gleichzeitig die Barometerstände B und b beobachtet hat, wenn die Temperatur der ganzen Luftsäule von der unteren Station bis zur Höhe der oberen gleich 0^0 wäre. Wäre die Temperatur dieser ganzen Luftsäule aber gleich T, d. h. gleich der Temperatur am unteren Beobachtungsorte, so würde die Höhendifferenz $H = 18\,363\,(1 + \alpha\, T)\, log. \frac{B}{b}$ sein, wenn α den Ausdehnungscoëfficienten der Luft bezeichnet. Ist aber nun t die Temperatur der Luft an der oberen Station, so würde die verticale Luftsäule von dem unteren Beobachtungsorte bis zur Höhe des oberen sich gerade so verhalten wie eine Luftsäule von gleicher Höhe und der mittleren Temperatur $\frac{T + t}{2}$, wenn man annehmen könnte, dass die Temperatur von der unteren Gränze dieser Luftsäule bis zur oberen gleichförmig abnähme. Für diesen Fall hätte man dann

$$H = 18\,363 \left(1 + \alpha \frac{T + t}{2}\right) log. \frac{B}{b} \text{ Meter} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Es ist dies die von Laplace aufgestellte Höhenformel, wenn man in derselben die unwesentliche Correction wegen der Veränderlichkeit der Schwere weglässt.

Ramont erhöhte den Coëfficienten dieser Formel auf 18 393, wofür Rühlmann später 18 400 annahm, so dass die Formel übergeht in

$$H = 18\,400 \left(1 + \alpha \frac{T + t}{2}\right) log. \frac{B}{b} \text{ Meter} \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

wofür er endlich setzte

$$H = 18\,400 \left(1{,}00157 + 0{,}00367 \frac{T + t}{2}\right) log. \frac{B}{b} \text{ Meter} \quad . \quad . \quad 3)$$

Wenn man nach einzelnen, gleichzeitig an zwei ungleich hohen Stationen angestellten Barometer- und Thermometerbeobachtungen die Höhendifferenz der beiden Stationen nach einer der obigen Formeln berechnet, so erhält man meist so stark von einander abweichende Resultate, dass die Differenzen weit über die durch Beobachtungsfehler erklärlichen Gränzen hinaus gehen. Ja selbst die aus mittleren Barometer- und Thermometerständen der beiden Stationen berechneten Höhenunterschiede weichen beträchtlich von den trigonometrisch genau bestimmten ab.

Schon Saussure's Beobachtungen am Col du géant zeigten, dass die aus Barometer- und Thermometer-Beobachtungen berechneten Höhen im Allgemeinen am Tage grösser sind als bei Nacht, dass sie also eine tägliche Periode zeigen. Ebenso ergaben die genauen Beobachtungen, welche Ramont in den Pyrenäen angestellt hatte, und auch die Vergleichung der gleichzeitig zu Clermont und zu Paris angestellten Beobachtungen, dass die barometrisch bestimmten Höhen sowohl von der Tageszeit als auch von der Jahreszeit abhängen.

Am eingehendsten hat R. Rühlmann diesen Gegenstand behandelt und die Resultate seiner Untersuchungen in einem Schriftchen „Die barometrischen Höhenmessungen u. s. w. Leipzig 1870" publicirt. Als Beobachtungsmaterial benutzte er sowohl die Barometer- und Thermometer-Beobachtungen, welche er gleichzeitig mit einem Freunde im September 1864 auf dem Valtenberg bei Bischofswerda in Sachsen und dem nahegelegenen Neukirch angestellt hatte, als auch die gleichzeitigen Beobachtungen an den schweizerischen meteorologischen Stationen St. Bernhard und Genf, deren trigonometrisch bestimmte Höhendifferenz 2070 Meter beträgt.

Als Mittel aus den sechs Beobachtungsjahren 1860 bis 1866 ergeben sich für die beigeschriebenen Tagesstunden für Lufttemperatur und Barometerstand in den Monaten Januar und Juli die in folgender Tabelle zusammengestellten Werthe

		Lufttemperatur.		Barometerstand auf 0°.		Berechn. Höhe.	*D*
		Genf.	St. Bernh.	Genf.	St. Bernh.		
		T	*t*	*B*	*b*	*H*	
Januar	0h Mittag	+ 2,1° C.	— 6,5° C.	727,53	560,91	2069,2m	— 0,8m
	2	+ 2,65	— 6,4	726,85	560,70	2068,5	— 1,5
	4	+ 2,2	— 7,6	726,91	560,88	2059,2	— 10,8
	6	+ 1,15	— 8,2	727,15	561,00	2055,8	— 14,2
	8	+ 0,55	— 8,3	727,39	561,15	2053,5	— 16,5
	10	+ 0,1	— 8,35	727,49	561,21	2051,8	— 18,2
	12	— 0,3	— 8,5	727,34	561,08	2050,1	— 19,9
	14	— 0,5	— 8,6	727,10	560,78	2050,3	— 19,7
	16	— 0,6	— 8,6	726,96	560,55	2051,5	— 18,5
	18	— 0,8	— 8,7	727,15	560,66	2051,1	— 18,9
	20	— 0,7	— 8,4	727,42	560,93	2051,6	— 18,4
	22	+ 0,6	— 7,6	727,65	561,20	2058,5	— 11,5
	Mittel	+ 0,50	— 7,97	727,24	560,93	2056,0	— 14,0
Juli	0h	+ 22,1	+ 8,8	727,66	568,52	2099,9	+ 29,9
	2	+ 23,0	+ 9,0	727,27	568,53	2099,1	+ 29,1
	4	+ 22,9	+ 8,5	727,00	568,53	2093,7	+ 23,7
	6	+ 21,8	+ 7,3	726,94	568,57	2084,2	+ 14,2
	8	+ 19,5	+ 6,1	727,36	568,73	2074,0	+ 4,0
	10	+ 17,5	+ 5,7	727,82	568,89	2068,3	— 1,7
	12	+ 16,0	+ 5,1	727,97	568,77	2064,0	— 6,6
	14	+ 14,5	+ 4,3	727,87	568,42	2059,3	— 10,7
	16	+ 13,8	+ 3,8	727,85	568,14	2059,2	— 10,8
	18	+ 15,0	+ 4,4	727,98	568,14	2067,0	— 3,0
	20	+ 18,4	+ 5,9	728,13	568,34	2083,7	+ 13,7
	22	+ 20,4	+ 7,9	727,97	568,45	2094,8	+ 24,8
	Mittel	+ 18,13	+ 6,56	727,71	568, 0	2079,0	+ 9,0

Das **Rühlmann**'sche Werkchen enthält die entsprechenden Tabellen für alle 12 Monate des Jahres.

Die 6te Verticalreihe obiger Tabelle enthält unter *H* die aus den in gleicher Horizontalreihe stehenden Daten berechnete Höhe von St. Bernhard über Genf, während die letzte Verticalreihe unter *D* angiebt, um

wie viel die barometrisch berechnete Höhe grösser (+) oder kleiner (—) ist, als die trigonometrisch bestimmte.

In dieser Tabelle tritt nun die schon erwähnte tägliche Periode sehr deutlich hervor; das Maximum der berechneten Höhen fällt auf die Mittagsstunde, das Minimum dagegen auf die Nachtstunden und zwar in den meisten Monaten auf 4 Uhr Morgens. Ferner ergiebt sich aus der Betrachtung dieser Tabellen, dass in unseren Zonen die günstigsten Zeiten zur Anstellung barometrischer Höhenmessungen in den verschiedenen Monaten folgende sind:

Im Januar:	Mittags	12^h			
Februar	Vormittags	10^h	und	Nachmittags	4^h
März	„	8	„	„	6
April	„	7	„	„	7
Mai	„	7	„	„	7
Juni	„	6	„	„	9
Juli	„	6	„	„	9
August	„	7	„	„	8
September	„	8	„	„	6
October	„	10	„	„	4
November	11	11	„	„	2
December	Nachmittags	1^h			

Der Unterschied zwischen dem täglichen Maximum und Minimum der berechneten Höhen beträgt für den Monat

Januar . . .	19,1	Meter	Juli	40,7	Meter
Februar . .	39,8	„	August . . .	40,6	„
März	32,4	„	September .	35,7	„
April	41,8	„	October . . .	26,1	„
Mai	37,1	„	November .	18,5	„
Juni	35,9	„	December . .	11,1	„

Die Amplitude, um welche die berechneten Werthe der Höhendifferenz zwischen St. Bernhard und Genf schwanken, sind also am kleinsten in den Monaten December, November und Januar, am grössten im April, Juli und August.

Die aus den Tages- und Monatsmitteln der meteorologischen Beobachtungen berechneten Höhen zeigen eine jährliche Periode, wie man aus der folgenden Tabelle ersieht, welche auch zeigt, dass die Amplitude der jährlichen Periode viel kleiner ist, als die der täglichen.

	Temperatur.		Barometerstand		Berechnete Höhe.	*D*
	Genf.	St. Bernhard.	Genf.	St. Bernhard.		
	T	*t*	*B*	*b*	*H*	
Januar . . .	+ 0,50	— 7,97	727,24	560,93	2056,0	— 14,0
Februar . . .	+ 0,91	— 9,12	727,23	560,37	2061,2	— 8,8
März	+ 4,63	— 7,82	723,08	558,02	2069,2	— 0,8
April	+ 9,82	— 2,56	726,69	563,52	2070,9	+ 0,9
Mai	+ 14,50	+ 1,63	726,10	565,35	2072,4	+ 2,4
Juni	+ 16,64	+ 3,82	727,07	566,83	2078,5	+ 8,5
Juli	+ 18,75	+ 6,39	727,66	568,50	2079,5	+ 9,0
August . . .	+ 18,13	+ 6,56	727,71	568,71	2075,0	+ 5,0
September . .	+ 14,62	+ 3,82	728,35	568,06	2068,0	— 2,0
October . . .	+ 10,56	+ 0,17	726,59	565,21	2059,8	— 10,2
November . .	+ 5,20	— 4,64	725,60	561,64	2060,6	— 9,7
December . .	+ 0,65	— 8,13	727,55	561,13	2056,7	— 13,3
Mittel	+ 9,57	— 1,47	726,74	564,02	2067,2	— 2,8

Die Jahresmittel der meteorologischen Beobachtungen geben Höhen, welche sich von den wahren Werthen nur wenig entfernen.

Die Monatsmittel geben im Winter zu kleine, im Sommer zu grosse Höhen.

Weichen selbst die aus Mittelwerthen der Barometer- und Thermometer-Beobachtungen berechneten Höhenunterschiede nicht unbedeutend von den wahren ab, so lässt sich erwarten, dass dies für isolirte Beobachtungen noch weit mehr der Fall sein wird und zwar selbst für Orte, deren Entfernung in horizontaler Richtung nur gering ist. So finden wir z. B. im 4. Jahrgange der schweizerischen meteorologischen Beobachtungen für den 26. December 1866 Morgens 7 Uhr

in Zürich (Sternwarte)	auf dem Uetliberg
$B = 726{,}1^{\text{mm}}$	$b = 692{,}2^{\text{mm}}$
$T = -\ 6{,}8^{0}$ C.	$t = +\ 1{,}5^{0}$ C.

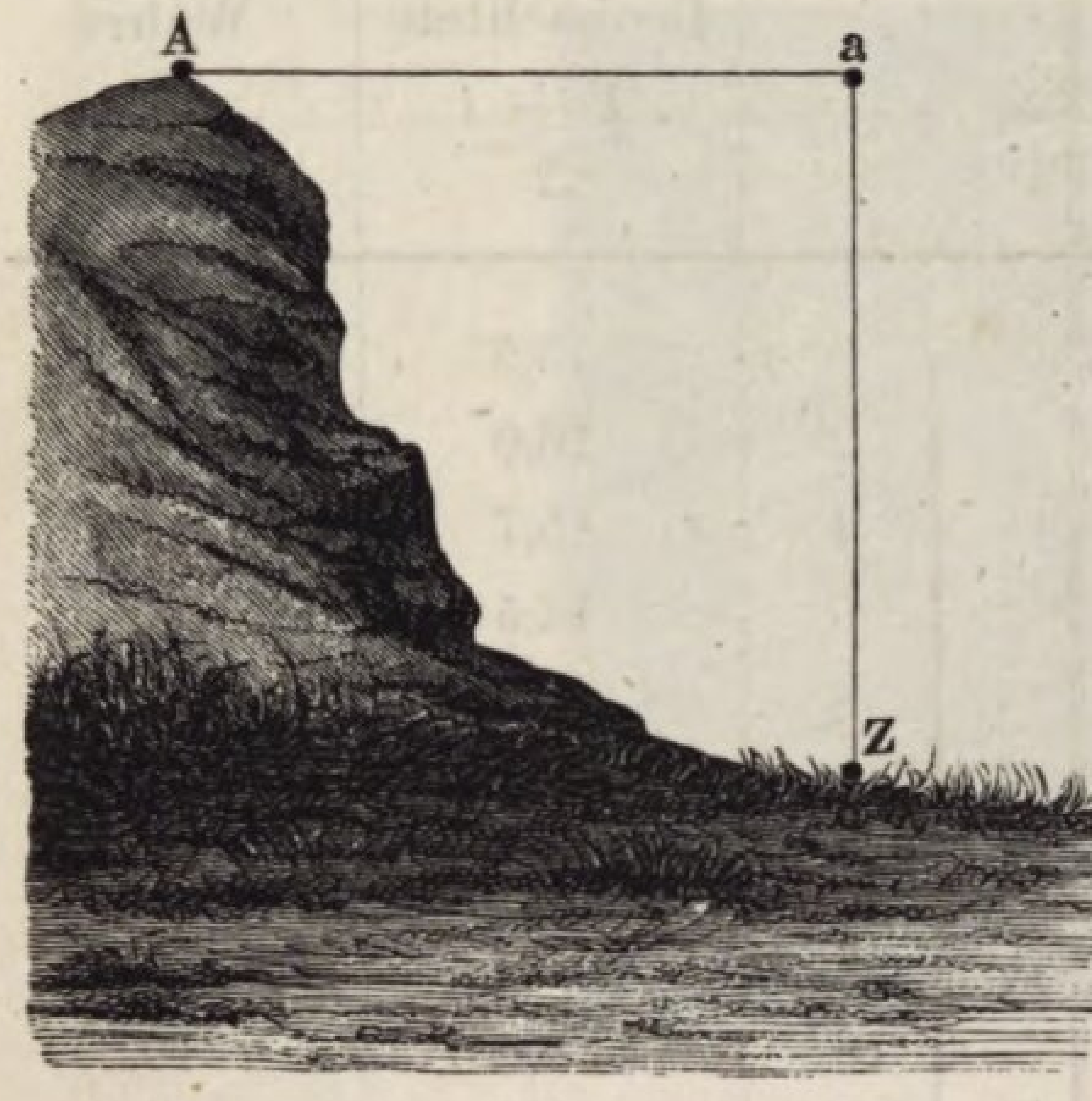
woraus sich aus Gl. 2) Seite 587 ergiebt

$$H = 377 \text{ Meter},$$

während der wahre Höhenunterschied zwischen der Züricher Sternwarte und dem Uetliberg 394 Meter beträgt. Die berechnete Höhe ist also um 17 Meter, also um $^1/_{23}$ des wahren Höhenunterschiedes zu klein, während der kleinste der in der Tabelle auf Seite 588 zusammengestellten berechneten Höhenunterschiede zwischen Genf und St. Bernhard nur um $^1/_{135}$ des wahren Höhenunterschiedes falsch ist.

Die Ursache der Abweichung der barometrisch bestimmten Höhen von den wahren liegt, wie Rühlmann nachgewiesen hat, darin, dass die Wärme der Luftsäule über der unteren Beobachtungsstation sich nicht so rasch ändert, wie das arithmetische Mittel der Thermometerablesungen an den oberen und unteren Stationen. Es sei A, Fig. 299, die obere, Z die untere der beiden Stationen und a ein Punkt, welcher mit A in gleicher Höhe vertical über Z liegt, so setzt man bei der Berechnung nach der Gleichung

Fig. 299.



$$H = 18400 (1 + \alpha D) \log. \frac{B}{b} \quad . \; . \; 2)$$

voraus, dass

$$D = \frac{T + t}{2},$$

d. h. dass die mittlere Temperatur der Luftsäule Za gleich sei dem arithmetischen Mittel zwischen den beiden gleichzeitig in Z und in A beobachteten Temperaturen. Setzt man in Gl. 2) für H die wahre Höhe, so ergiebt sich für die wahre mittlere Temperatur der Luftsäule Za der Werth

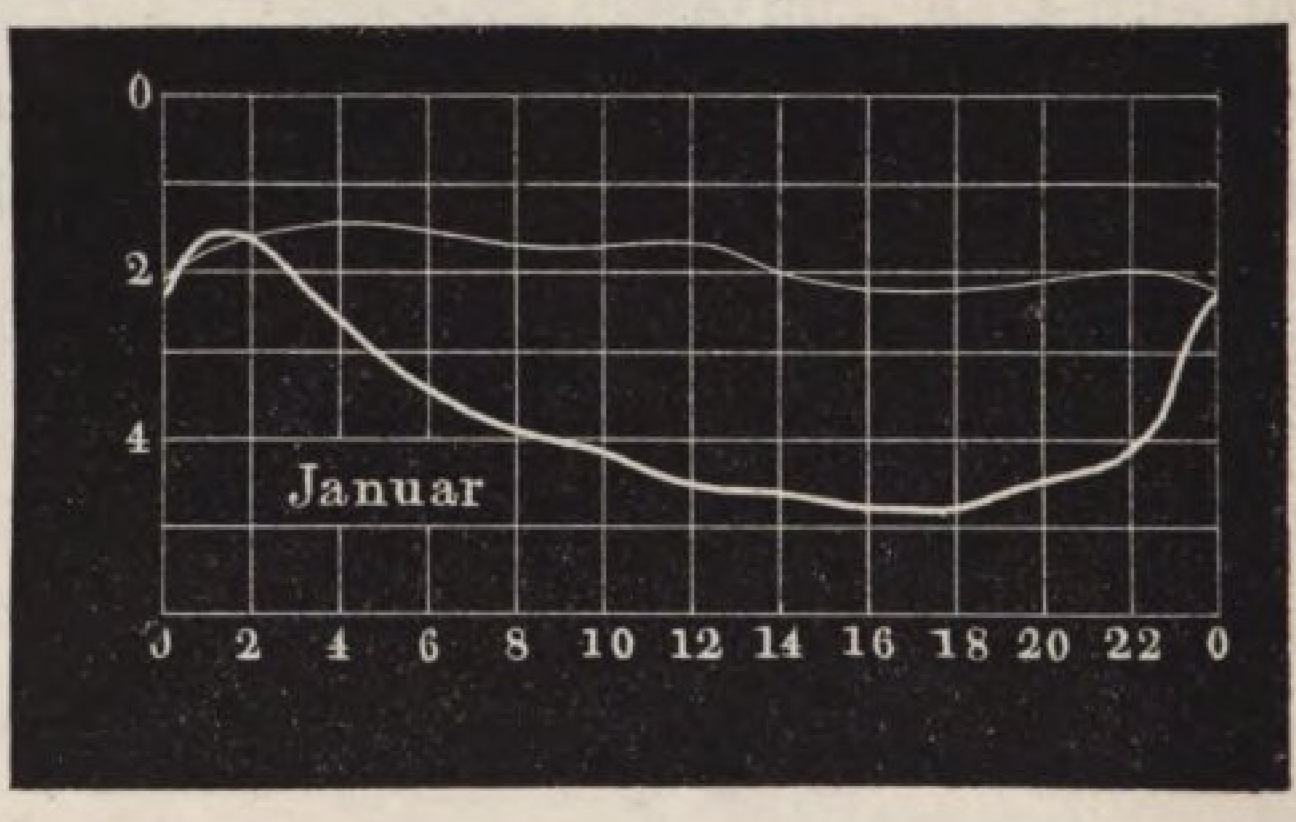
$$D = \frac{\alpha}{1} \left(\frac{H}{18400} \log. \frac{B}{b} - 1 \right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 3)$$

Die nach Gl. 3) berechneten Werthe von D weichen aber wesentlich von den entsprechenden Werthen von $\frac{T + t}{2}$, die wir als die beobachteten mittleren Temperaturen bezeichnen wollen, ab, wie man aus der folgenden Zusammenstellung für die Monate Januar und Juli ersieht.

		Mittlere Lufttemperatur.				Mittlere Lufttemperatur.	
		Beobachtete $\frac{T+t}{2}$	Wahre D			Beobachtete $\frac{T+t}{2}$	Wahre D
Januar	0h	— 2,2° C.	— 2,1	Juli	0h	15,5	11,4
	2	— 1,8	— 1,9		2	16,0	12,0
	4	— 2,7	— 1,5		4	15,7	12,4
	6	— 3,5	— 1,6		6	14,5	12,6
	8	— 3,8	— 1,7		8	12,8	12,3
	10	— 4,1	— 1,7		10	11,6	11,9
	12	— 4,4	— 1,7		12	10,5	11,4
	14	— 4,5	— 2,0		14	9,4	10,9
	16	— 4,6	— 2,2		16	8,8	10,3
	18	— 4,7	— 2,2		18	9,7	10,1
	20	— 4,5	— 2,1		20	12,1	10,3
	22	— 4,1	— 2,0		22	14,1	10,8
Mittel		— 3,7	— 1,9	Mittel		12,5	11,3

Nach dieser Tabelle ist in Fig. 300 und Fig. 301 der tägliche Gang der wahren und der beobachteten mittleren Lufttemperatur für die

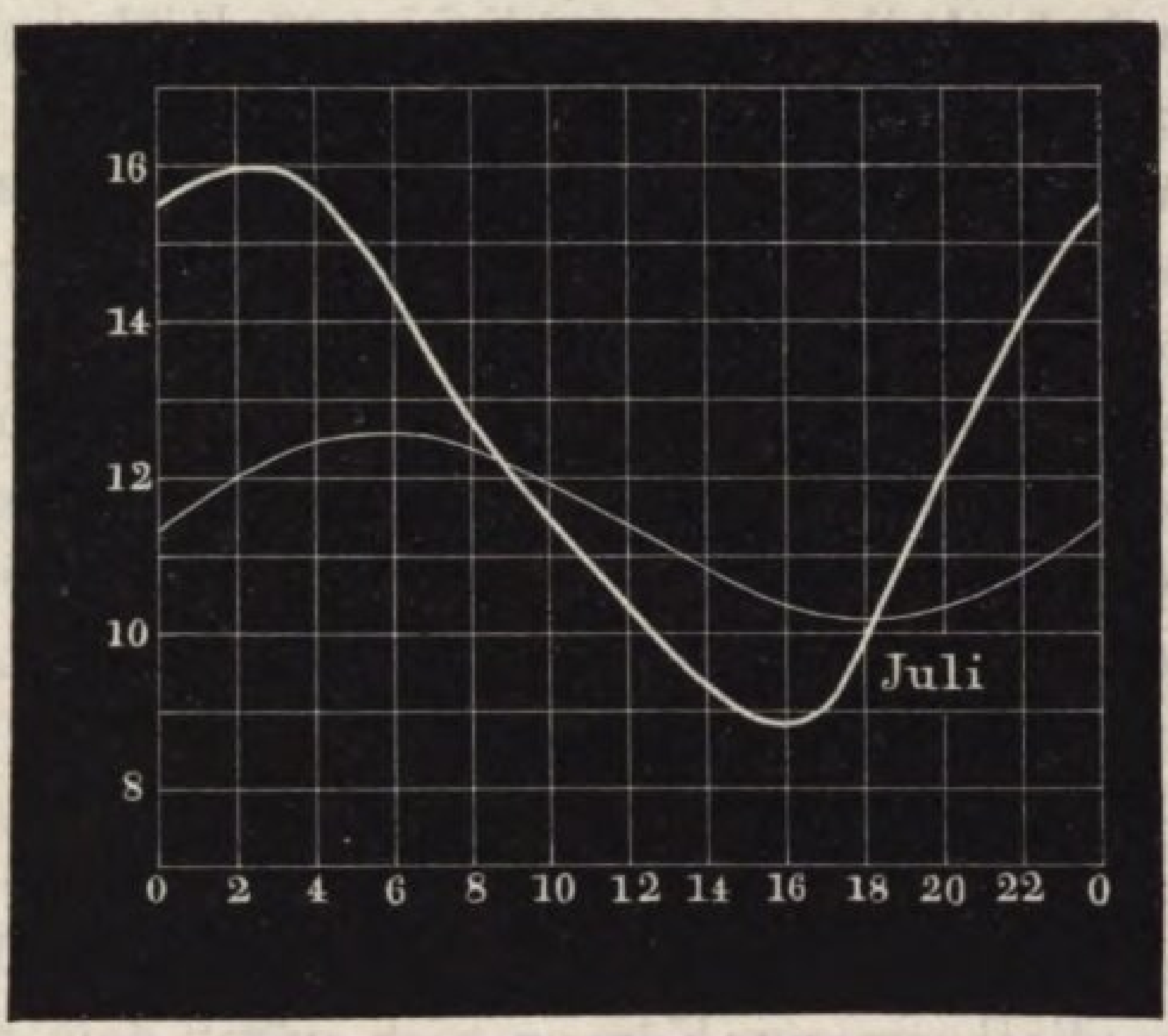
Fig. 300.



Monate Januar und Juli graphisch dargestellt und zwar stellt die stark ausgezogene Curve den Gang der beobachteten, die fein ausgezogene dagegen den Gang der wahren Lufttemperatur dar. Die beiden Curven schneiden sich für diejenigen Stunden, für welche die baro-

metrisch berechnete Höhe mit der trigonometrisch bestimmten übereinstimmt.

Fig. 301.



Vergleicht man auf die angegebene Weise die wahre mittlere Lufttemperatur der Monate mit der beobachteten, so findet man die Werthe der folgenden Tabelle:

Monat.	Mittlere Lufttemperatur. Beobachtete $\frac{T+t}{2}$	Wahre D
Januar	— 3,6	— 1,8
Februar	— 4,1	— 3,0
März	— 1,6	— 1,5
April	+ 3,1	+ 3,5
Mai	+ 8,0	+ 7,7
Juni	+ 10,2	+ 9,1
Juli	+ 12,5	+ 11,3
August	+ 12,3	+ 11,6
September	+ 9,2	+ 9,5
October	+ 5,8	+ 6,7
November	— 0,3	+ 1,6
December	— 4,4	— 2,0
Mittel	+ 4,0	+ 4,39

Man erkennt aus diesen Tabellen, dass sich die Luft bei weitem nicht in dem Maasse und nicht so rasch erwärmt, wie es die Thermometer an den Beobachtungsstationen zeigen, sie nimmt nur wenig und gleichsam zögernd Antheil an den täglichen und jährlichen Schwankungen der Temperatur an der Erdoberfläche.

Die Maxima und Minima der Lufttemperatur treten sowohl bei den täglichen als auch bei der jährlichen Periode später ein, als die an den Thermometern beobachteten Maxima und Minima. So sieht man z. B. in Fig. 301, dass das beobachtete tägliche Temperaturmaximum im Juli auf 2 Uhr, das Maximum der wahren Lufttemperatur aber erst auf 6 Uhr Nachmittags fällt, während die Zeit des wahren Minimums ungefähr um 2 Stunden später eintritt als das des beobachteten.

Der Grund dieser Erscheinung ist offenbar darin zu suchen, dass der Erdboden eine sehr grosse Absorptionsfähigkeit für Wärmestrahlen besitzt, dass er sich also unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stark erwärmt, durch nächtliche Strahlung dagegen stark abkühlt, während die Luft, als ein sehr diathermaner Körper, sich unter dem directen Einfluss der Sonnenstrahlen nur wenig erwärmt, dagegen aber auch Nachts durch Strahlung wenig Wärme abgiebt. Die an den Beobachtungsstationen angebrachten Thermometer sind nun sehr von der strahlenden Wärme des Erdbodens und der Umgebung influirt, sie werden also den bedeutenderen und rascheren Temperaturschwankungen der Erdoberfläche folgen müssen und können nicht den wahren Gang der Temperatur in höheren Luftschichten angeben.

210 **Ursachen der Barometerschwankungen.** Die letzte Ursache aller Barometerschwankungen ist in der ungleichen und stets sich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört, es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht herzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung; bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter, bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen sein, welche uns das Barometer anzeigt.

Dass wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, dass sie in den Tropen, wo die Temperatur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind; in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr gross; ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

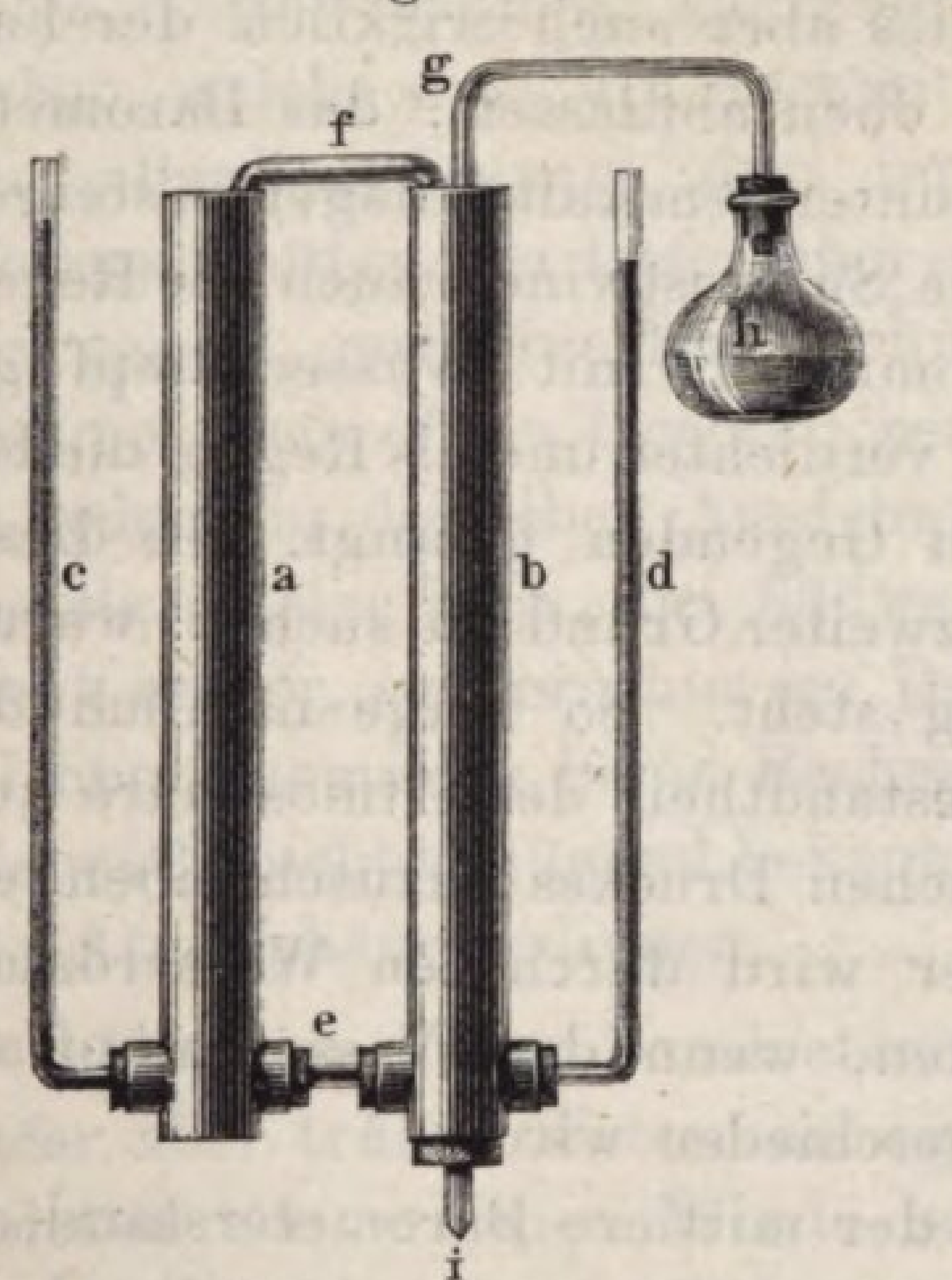
Im Allgemeinen kann man leicht darthun, dass die ungleiche stets

sich ändernde Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Grösse des Luftdrucks zur Folge haben muss.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so dehnt sie sich aus, die Luftsäule erhebt sich über die Luftmasse, welche auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe gestiegene Luft wird also oben nach den Seiten hin abfliessen, der Druck der Luft muss also an den wärmeren Orten abnehmen, das Barometer wird daselbst sinken müssen; in den kälteren Umgebungen aber muss das Barometer steigen, weil sich die in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden seitwärts abfliessende Luft über die Atmosphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Es lässt sich dies durch den Apparat Fig. 302 anschaulich machen. *a* und *b* sind Blechröhren von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fuss Höhe, welche unten bei *e* durch ein Stück Thermometerrohr verbunden sind. Mit der Blechröhre *a* ist die Glasröhre *c*, mit der Röhre *b* ist die Glasröhre *d* in Verbindung. Wenn man in eine der Röhren *b* oder *a* Wasser giesst, so wird dasselbe nur langsam durch die enge Röhre bei *e* in die andere Röhre fliessen können. Wenn man beide Röhren *a* und *b* fast bis oben füllt und sie dann oben durch ein hinlänglich weites Heberrohr *f* in Verbindung setzt, so muss sich das Wasser in allen vier Röhren, *c*, *a*, *b* und *d*, gleich hoch stellen. Nun aber geht durch das Blechrohr *b* von oben bis unten ein unten offenes Glasrohr *gi* hindurch, durch welches die in dem Kolben *h* mittelst einer Weingeistlampe entwickelten Wasserdämpfe hindurchgeleitet werden. In unserer Figur ist der Kolben *h* neben die Röhre *d* gezeichnet worden; es ist aber besser, wenn er, was sich in der Figur nicht so gut hätte darstellen lassen, hinter *b* sich befindet.

Fig. 302.



Da das Rohr *gi* mit kaltem Wasser umgeben ist, so werden die durchstreichenden Dämpfe verdichtet, und das Wasser in *b* wird erwärmt. Wenn nun zwischen *a* und *b* gar keine Verbindung wäre, so würde die Wassersäule in *b* steigen, ohne dass das Wasser in *d* steigt, weil *b* erwärmt wird, *d* aber kalt bleibt; da aber die Röhren *b* und *a* oben durch die Heberröhre *f* verbunden sind, so kann das Wasser in *b* nicht höher stehen als in *a*, ein Theil des in *b* erwärmten Wassers fliesst nach *a* über, und in Folge dessen sinkt das Wasser in *d*, in *c* aber steigt es, weil zu dem schon in *a* vorhandenen Wasser noch neues durch den Heber *f* hinzukommt.

Wäre *e* eine hinlänglich weite Röhre, so würde das Wasser in allen

vier Röhren stets gleich hoch bleiben, weil in dem Maasse, als warmes Wasser durch *f* nach *a* fliesst, unten umgekehrt kaltes Wasser durch *e* nach *b* fliessen, weil sich also das gestörte Gleichgewicht in jedem Augenblicke wieder herstellen würde; dies ist aber nicht möglich, weil die Röhre *e* zu enge ist. Ebenso wird in erkalteten Gegenden der Luftdruck zu-, in erwärmten abnehmen, weil die Luft in den unteren Regionen nicht schnell genug der erwärmten Gegend zuströmen kann, um das gestörte Gleichgewicht sogleich wieder herzustellen.

Dadurch erklärt sich auch, warum in unseren Gegenden im Durchschnitte bei Südwestwinden das Barometer am tiefsten, bei Nordostwinden am höchsten steht; die Südwestwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordostwinde kältere Luft zuführen. Da wo ein warmer Luftstrom weht, müsste die Atmosphäre eine grössere Höhe haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftsäule an beiden Orten derselbe sein sollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, so würde die Luft des warmen Stromes oben abfliessen, das Barometer also unter dem warmen Luftstrome sinken, unter dem kalten dagegen steigen.

In Europa sind im Durchschnitte die Südwestwinde auch die Regenwinde, weil sie, von wärmeren Meeren kommend, mit Wasserdampf gesättigt sind, welcher sich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieser Condensation des Wasserdampfes ist ein zweiter Grund zu suchen, warum das Barometer bei Südwestwinden niedrig steht. So lange nämlich der Wasserdampf als förmliches Gas einen Bestandtheil der Atmosphäre ausmacht, ist ihm ein Theil des atmosphärischen Druckes zuzuschreiben, ein Theil der Quecksilbersäule im Barometer wird durch den Wasserdampf getragen; das Barometer muss also sinken, wenn der Wasserdampf aus der Atmosphäre durch Verdichtung ausgeschieden wird.

Dieser Umstand erklärt auch, dass der mittlere Barometerstand am Meere zwischen dem 60. und 70. Breitengrade so gering ist; die Luft, welche von südlichen Gegenden herkommt, verliert mehr und mehr ihren Wassergehalt, der Druck, den sie ausübt, muss also nach und nach abnehmen.

Nach der eben entwickelten Ansicht ist das Sinken des Barometers eine Erscheinung, welche das Wehen warmer Winde begleitet, während kalte Winde ein Steigen des Barometers veranlassen; im Allgemeinen wird also das Thermometer steigen, wenn das Barometer fällt. Dies ist auch in der That der Fall, und zwar tritt dieser Gegensatz im Gange der beiden Instrumente am deutlichsten im Winter auf. Fig. 5 auf Tab. 20, welche den Beobachtungen des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. entnommen ist, zeigt den Gang der mittleren täglichen Temperatur (obere Curve) und des mittleren täglichen Barometerstandes (untere Curve) daselbst vom 1. Januar bis zum 20. Februar 1837; man sieht, wie in der That das Barometer gewöhnlich steigt, wenn das Thermometer fällt, und dass ein barometrisches Minimum meistens mit einem thermometrischen Maximum zusammenfällt.

Die Beobachtungen anderer Jahre und anderer Orte geben dasselbe Resultat.

Wenn dieser Gegensatz im Sommer nicht so rein auftritt, so ist der Grund davon darin zu suchen, dass die an sich warmen Südwestwinde im Sommer doch eine kühlere Temperatur zur Folge haben, weil, wenn sie wehen, der Himmel meist bewölkt ist und dadurch die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenstrahlen verhindert wird, während die abkühlende Wirkung der Nordostwinde dadurch neutralisirt wird, dass sich bei heiterem Himmel durch die kräftig wirkenden Sonnenstrahlen der Boden bedeutend erwärmt. Damit hängt auch die geringe Amplitude der Barometerschwankungen im Sommer zusammen.

Da die Südwestwinde, welche in unseren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regnerisches Wetter bringen, während das Barometer steigt, wenn Nordostwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, so kann man allerdings sagen, dass im Allgemeinen ein hoher Barometerstand schönes Wetter, ein tiefer aber schlechtes Wetter anzeigt. Dies ist aber, wie gesagt, nur eine Durchschnittsregel, denn bei Nordostwind ist der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südwestwind auch manchmal heiter; sie ist jedoch in derselben Ausdehnung wahr wie die, dass bei Nordostwind das Barometer hoch, bei Südwestwind dagegen tief steht; dies ist auch nicht immer, sondern nur im Durchschnitte wahr. Wir können uns von solchen Anomalien keine Rechenschaft geben, weil uns die mannigfachen Elemente nicht genügend bekannt sind, welche den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre bedingen.

Dass ein hoher Barometerstand im Allgemeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, ist auch nur für solche Orte wahr, an welchen die warmen Winde zugleich die Regen bringenden sind. An dem Ausflusse des La Platastromes z. B. sind die kalten Südostwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer steigen machen, die Regenwinde; die warmen Nordwestwinde aber, bei welchen das Barometer sinkt, sind trockene Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umstande, dass dort der Regen durch kalte Winde gebracht wird, ist die geringere Regenmenge dieser Gegenden zuzuschreiben, während unter gleicher Breite an den Westküsten von Südamerika sehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordwestwind zugleich ein Seewind ist.

Die tägliche Periode der Barometerschwankungen ist wesentlich durch die Veränderungen im Feuchtigkeitszustande der Luft bedingt; wir werden deshalb auf diesen Gegenstand zurückkommen, wenn wir die Veränderungen werden kennen gelernt haben, welche der Wassergehalt der Luft im Laufe des Tages erleidet.

Atmosphärische Ebbe und Fluth. Nachdem es Newton gelungen war, die Erscheinungen der Ebbe und Fluth der grossen Oceane 211

auf die Massenanziehung der Sonne und des Mondes zurückzuführen, lag die Idee nahe, dass diese beiden Himmelskörper auch eine atmosphärische Ebbe und Fluth veranlassen müssen. Eine atmosphärische Fluth wird aber das Barometer steigen, eine atmosphärische Ebbe wird es sinken machen, das Barometer wird uns also Auskunft über das Vorhandensein der atmosphärischen Ebbe und Fluth und über den Einfluss geben, welchen dieselbe auf die Grösse des Luftdrucks ausübt.

Die durch die Sonnenmasse erzeugten Veränderungen des Barometerstandes fallen so vollständig mit den anderweitigen täglichen Variationen zusammen, dass sie nicht davon getrennt werden können. Die Mondfluth fällt aber zur Zeit der Syzygien mit der Sonnenfluth zusammen, während zur Zeit der Quadraturen die Mondebbe mit der Sonnenfluth zusammenfällt. Der Einfluss, welchen die Massenanziehung des Mondes auf den Barometerstand ausübt, wird also darin bestehen, dass derselbe zur Zeit der Syzygien etwas erhöht, zur Zeit der Quadraturen etwas erniedrigt erscheint.

Aus den von Bouvard auf der Pariser Sternwarte von 1815 bis 1823 dreimal täglich (9 Uhr Morgens, Mittags und 3 Uhr Nachmittags) angestellten Beobachtungen berechnete La Place, dass der Betrag der atmosphärischen Mondfluth nur 0,0544 Millimeter betrage, ein Werth, welcher sich noch auf 0,0176 Millimeter reducirte, als Bouvard nach den La Place'schen Formeln diese Grösse aus den von 1815 bis 1827 fortgesetzten Barometerbeobachtungen ableitete.

Auch O. Eisenlohr findet, zweiundzwanzigjährige Beobachtungen der Pariser Sternwarte zusammenstellend, dass der Einfluss des synodischen Mondumlaufes auf den Barometerstand sehr unbedeutend sei, ja nach seiner auf S. 185 des LX. Bandes von Poggendorff's Annalen gegebenen Zusammenstellung ist der mittlere Barometerstand für Neumond und Vollmond selbst noch um $0{,}008^{mm}$ tiefer, als für das erste und letzte Viertel.

Hier dürfte wohl der geeignetste Ort sein, den Einfluss des Mondes auch auf andere meteorologische Erscheinungen zu betrachten. Aus 15jährigen Beobachtungen hat Mädler nachgewiesen, dass der Mond einen, wenn auch unbedeutenden Einfluss auf die Lufttemperatur äussert. Aus 114jährigen Beobachtungen hat Buys-Ballot nachgewiesen, dass für die Niederlande wenigstens an jedem der sieben auf einander folgenden Tage, von welchen zwei seiner grössten nördlichen Declination vorangehen, die anderen fünf ihr folgen, die Lufttemperatur um $0{,}11^0$ R. höher steht, als an den sieben gerade gegenüberstehenden Tagen, und ebenso, dass es vom 12. bis 19. Tage seines Alters, also um den Vollmond, um $0{,}09^0$ R. wärmer ist, als zur Zeit des Neumondes.

Schübler und Eisenlohr stimmen darin überein, dass wenigstens für Südwest-Deutschland die nördlichen und östlichen Winde am häufigsten in der Zeit zwischen dem letzten Viertel und dem Neumond, am seltensten aber zur Zeit des Vollmondes wehen. Nach Schübler ver-

hält sich die Häufigkeit der südlichen und westlichen Winde zur Zeit des zweiten Octanten (zwischen dem ersten Viertel und dem Vollmond) zur Häufigkeit dieser Winde zur Zeit des letzten Viertels wie 1,37 zu 1. Nach O. Eisenlohr ergiebt sich für dieses Verhältniss 1,21 : 1.

Auch auf die Bewölkung äussern die Mondphasen einen unverkennbaren Einfluss, indem das Maximum der heiteren Tage auf die Zeit des letzten Viertels und des vierten Octanten, das Minimum der hellen Tage aber auf die Zeit des Vollmondes fällt. Aus den Beobachtungen zu Augsburg berechnet Schübler, dass sich die Zahl der trüben Tage zu der der heiteren verhält

wie 100 zu 42 zur Zeit des Vollmondes,
wie 100 zu 77 zur Zeit des letzten Viertels.

Auch nach Eisenlohr fällt das Maximum der heiteren Tage auf den vierten Octanten.

Der Einfluss der Mondphasen auf Windrichtung und Bewölkung lässt erwarten, dass dieselben auch einen Einfluss auf die Regenmenge ausüben werden, was auch durch Schübler und Eisenlohr bestätigt wird. Zu Augsburg verhält sich nach Schübler die Zahl der Regentage zur Zeit des zweiten Octanten zu der des letzten Viertels wie 97 zu 76, die Regenmengen dieser Perioden verhalten sich aber wie 301 zu 221.

Entstehung der Winde. Wenn man im Winter die in einen 212
kalten Raum führende Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und eine brennende Kerze an das obere Ende des Spaltes hält, wie man Fig. 303 sieht, so zeigt die nach aussen gerichtete Flamme einen von dem warmen Zimmer nach dem kalten Raume gerichteten Luftstrom an. Rückt man nun mit der Kerze mehr und mehr herunter, so stellt sich die Flamme immer mehr aufrecht, ungefähr in der halben Höhe der Oeffnung steht sie ganz still, sie ist hier nicht durch Luftströmungen afficirt; bringt man sie aber noch weiter herunter, so wird die Flamme von aussen nach innen getrieben. Man sieht also, dass die erwärmte Luft oben aus- und dass dagegen unten die kalte Luft in das Zimmer einströmt.

Fig. 303.



Wie hier im Kleinen die ungleiche Erwärmung der beiden Räume Luftströmungen veranlasst, so ist auch die ungleiche stets wechselnde Erwärmung der Erdoberfläche und des über ihr schwebenden Luftmeeres die Ursache der Luftströmungen, die wir Winde nennen. Auch im Grossen sieht man die Luft in den stärker erwärmten Gegenden aufsteigen und in der Höhe

nach den kälteren abfliessen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter Wind, der Seewind, weil das feste Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer; über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fliesst oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auf dem Meere schon in grösserer Entfernung von der Küste; zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine Windstille ein. Dann erkaltet Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Dem eben Gesagten zufolge sind die Land- und Seewinde locale, an eine tägliche Periode gebundene Erscheinungen, welche nur dann rein auftreten können, wenn sie nicht durch die allgemein herrschenden Luftströmungen gestört oder doch modificirt werden.

Selbst den Ufern grösserer Landseen, z. B. denen des Bodensees, sind die Land- und Seewinde nicht fremd; sehr merklich treten sie auch an den grossen nordamerikanischen Landseen auf.

Die in Hochgebirgen auftretenden Morgen- und Abendwinde, welche man unter dem Namen der Thalwinde zusammenfassen kann, sind eine den Land- und Seewinden verwandte Erscheinung. Wenn in den Morgenstunden die Thalsohle und die sie einschliessenden Bergwände durch die Sonnenstrahlen mehr und mehr erwärmt werden, theilt sich diese Erwärmung zunächst den unteren Luftschichten mit, welche dadurch ausgedehnt längs der Bergabhänge aufsteigen und so den Morgenwind veranlassen, während nach Sonnenuntergang die an den rascher erkaltenden Berggipfeln abgekühlte Luft sich längs der Bergabhänge in das Thal herabsenkt.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch' eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch' ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muss, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, dass durch die plötzliche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und dass die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muss, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet,

die Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird. Dass auf diese Weise, also gleichsam durch Saugen, häufig Winde, und namentlich Stürme erzeugt werden, dafür sprechen zahlreiche Erfahrungen. Wargentin bemerkt, dass der Westwind in der Regel zu Moskau eher als zu Abo beobachtet wird, obgleich letztere Stadt bedeutend westlicher liegt als Moskau; auch bläst dieser Westwind in Finnland oft eher als in Schweden.

Franklin erzählt, dass, als er zu Philadelphia eine Mondfinsterniss beobachten wollte, er daran durch einen Nordoststurm verhindert wurde, welcher sich gegen 7 Uhr Abends einstellte und den Himmel mit dichten Wolken überzog; er war überrascht, einige Tage nachher zu erfahren, dass der Sturm zu Boston, welches ungefähr 300 englische Meilen nordöstlich von Philadelphia liegt, erst um 11 Uhr Abends angefangen hatte, nachdem schon die ersten Phasen der Mondfinsterniss beobachtet worden waren. Indem er alle Berichte aus den verschiedenen Colonien mit einander verglich, bemerkte Franklin durchgängig, dass dieser Nordoststurm an verschiedenen Orten um so später sich eingestellt hatte, je weiter sie nach Norden lagen.

Es ist bekannt, dass zwischen Häusern der Wind oft in anderer Richtung weht als über den Gebäuden, weil durch diese die Windrichtung auf mannigfache Art modificirt wird. Gerade so wie die Häuser können aber auch die Gebirge locale Störungen in der Windrichtung bewirken.

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer schwebenden, woraus hervorgeht, dass in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedener Richtung stattfinden.

Passatwinde und Moussons. Als Columbus auf seiner Entdeckungsreise nach Amerika seine Schiffe durch einen beständigen Ostwind fortgetrieben sah, wurden seine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil sie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieser in den Tropen beständig von Osten nach Westen wehende Wind, welcher so sehr das Erstaunen der Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, ist der Passatwind. Die Schiffer benutzen diesen Wind, um von Europa nach Amerika zu segeln, indem sie von Madeira aus südlich bis in die Nähe des Wendekreises steuern, wo sie dann durch den Passat nach Westen getrieben werden. Diese Reise ist so sicher und die Arbeit der Matrosen dabei so gering, dass die spanischen Seeleute diesen Theil des atlantischen Oceans den Frauengolf (el golfo de las Damas) nannten. Auch in der Südsee weht dieser Wind; die spanischen Schiffer liessen sich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben. 213

Im atlantischen Ocean erstreckt sich der Passatwind im Mittel bis

zum 28., im grossen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heissen Zone ist die Richtung des Passatwindes eine nordöstliche; je mehr er sich aber dem Aequator nähert, desto mehr wird seine Richtung rein östlich. Die Gränze des Passats ist in der südlichen Halbkugel weniger genau bestimmt; dort aber hat der Passat eine südöstliche Richtung, die mehr und mehr östlich wird, je weiter er gegen den Aequator vordringt.

Diese Winde wehen rund um die ganze Erde, doch treten sie in der Regel erst 50 Meilen weit vom festen Lande ganz ungestört auf.

Da, wo der Nordostpassat der nördlichen und der Südostpassat der südlichen Hemisphäre zusammentreffen, combiniren sie sich zu einem rein östlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intensität der Sonnenstrahlen stark erwärmten und deshalb mächtig aufsteigenden Luft eben durch diese verticale Bewegung neutralisirt wird. Es würde in diesen Gegenden eine fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die fast täglich unter Donner und Blitz stattfindenden Regengüsse begleiten, die Ruhe der Atmosphäre störten und das Wehen sanfter regelmässiger Winde unmöglich machten.

Die Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, ist die Region der Calmen.

Auf der Karte Tab. XXIII sind die Gegenden, wo regelmässige Winde herrschen, durch einen rothen Farbenton ausgezeichnet. Die Region der Calmen fällt, wie man sieht, nicht mit dem Aequator zusammen, sondern ihre Mitte liegt ungefähr 6⁰ nördlich von demselben. Während unserer Sommermonate ist der Gürtel der Calmen breiter und seine nördliche Gränze entfernt sich noch vom Aequator, während gleichzeitig auch die Region des Nordostpassats weiter nach Norden rückt; die Gränzen dieser Wanderung im atlantischen Ocean ersieht man aus der folgenden kleinen Tabelle:

	Nördliche Gränze des Nordostpassats.	Nördliche Gränze der Region der Calmen.	Südliche Gränze der Region der Calmen.
Winter	$24^3/_4{}^0$ nördl. Br.	$5^3/_4{}^0$ nördl. Br.	$2^1/_2{}^0$ nördl. Br.
Frühling	28 „ „	$5^3/_4$ „ „	$1^1/_2$ „ „
Sommer	$30^3/_4$ „ „	$11^1/_3$ „ „	$3^1/_4$ „ „
Herbst	$28^1/_3$ „ „	10 „ „	$3^1/_4$ „ „
Jahresmittel . .	28^0 nördl. Br.	$8^1/_4{}^0$ nördl. Br.	$2^2/_3{}^0$ nördl. Br.

Man sieht aus dieser Tabelle auch, dass die Südgränze der Calmenregion ihre Lage im Laufe des ganzen Jahres nur wenig ändert.

Dass die Region der Calmen auf der nördlichen Hemisphäre liegt, rührt offenbar von der Configuration der Continente her.

Schon Halley hat die Grundursache der Passatwinde richtig erkannt. Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden stark erwärmt in die Höhe steigt, erhebt sich über die kälteren Luftmassen zu beiden Seiten und strömt oben wieder nach den Polen hin ab. Dass aber der Passatwind auf der nördlichen Halbkugel nicht ein reiner Nord-, auf der südlichen Halbkugel nicht ein reiner Südwind, sondern vielmehr Nordost und Südost ist, das ist, wie Halley zeigte, eine Folge der Umdrehung der Erde um ihre Axe.

Je näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, desto langsamer wird er sich in dem während 24 Stunden zu beschreibenden Kreise fortbewegen, weil dieser Kreis um so kleiner ist, je weiter man sich vom Aequator entfernt. Demnach ist auch die Rotationsgeschwindigkeit der über der Erde ruhenden Luftmasse in der Nähe der Pole geringer als am Aequator; wenn nun eine Luftmasse aus höheren Breiten dem Aequator zugeführt wird, so gelangt sie mit geringerer Rotationsgeschwindigkeit über Ländern an, welche sich schneller von Westen nach Osten bewegen; in Beziehung auf diesen unter ihr sich fortbewegenden Boden hat also die Luft eine Bewegung von Osten nach Westen. Diese Bewegung combinirt sich mit der gegen den Aequator hin fortschreitenden Bewegung auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nordost-, auf der südlichen aber zu einem Südostwinde.

Die in den Aequatorialgegenden aufsteigende Luft fliesst in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um sich nach den Polen hin zu ergiessen. Die Richtung dieses oberen Passats ist natürlich der des unteren gerade entgegengesetzt, sie ist in der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, in der südlichen Halbkugel eine nordwestliche.

Dass in den oberen Luftregionen wirklich ein Passat weht, welcher dem unteren entgegengesetzt ist, lässt sich durch Thatsachen beweisen; so wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulcans von Cosiguina im Staate Guatemala die Asche bis in die Höhe des oberen Passats geschleudert, der sie in südwestlicher Richtung fortführte, so dass sie auf der Insel Jamaica niederfiel, obgleich in den unteren Luftschichten der Nordostpassat herrschte.

In grösserer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Pics von Teneriffa herrschen fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel der untere Passat weht.

Im indischen Ocean ist die Regelmässigkeit der Passatwinde durch die Configuration der Ländermassen, welche dieses Meer umgeben, namentlich aber durch den asiatischen Continent, gestört. Im südlichen Theile des indischen Oceans, zwischen Neuholland und Madagaskar, herrscht

noch das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen Theile dieses Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beständiger Südwest-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beständiger Nordostwind. Diese regelmässig abwechselnden Winde werden Moussons oder Monsuns genannt.

Der Südwestwind weht vom April bis zum September, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordostwind.

Während in den Wintermonaten der asiatische Continent erkaltet, die Sonne aber in südlicheren Gegenden eine grössere Wärme erzeugt, muss natürlich ein Nordostpassat von dem kälteren Asien nach den heisseren Gegenden wehen. In dieser Zeit ist auch im indischen Ocean der Nordostpassat von dem Südostpassat durch die Region der Calmen getrennt.

Das Wehen des Südostpassats wird zwischen Neuholland und Madagaskar nicht gestört, in den nördlichen Theilen des indischen Oceans aber, in welchen im Winter ein Nordostwind geherrscht hatte, wird dieser in einen Südwestwind verwandelt, weil sich nun der asiatische Continent sehr stark erwärmt und also eine Luftströmung nach Norden hin veranlasst, welche durch die Rotation der Erde in einen Südwestwind verwandelt wird.

In kleinerem Maassstabe wiederholt sich die Erscheinung der Moussons an den Küsten von Oberguinea in Afrika und an der Westküste von Südamerika vom 5. Grade südlicher Breite bis zur Landenge von Panama.

214 **Winde in höheren Breiten.** Der obere Passat, welcher die Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, senkt sich, wie schon erwähnt wurde, immer mehr und erreicht endlich auf der nördlichen Hemisphäre als Südwestwind, auf der südlichen aber als Nordwestwind den Boden; ausserhalb der Region der Passatwinde gehen daher die beiden Luftströmungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequator zurück nach den Polen führen, nicht mehr über einander, sondern neben einander her, sie streben einander gegenseitig zu verdrängen; bald erlangt der Südwest, bald der Nordost (auf der südlichen Hemisphäre bald der Nordwest, bald der Südost) die Ueberhand und bei dem Uebergange aus einer dieser Windrichtungen in eine andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen der Windrose wehen.

Obgleich auch in höheren Breiten Südwest und Nordost die herrschenden Winde sind, so findet zwischen ihnen doch keine so regelmässige periodische Abwechselung Statt wie bei den Moussons im indischen Ocean.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verschiedenen Ländern an; sie giebt nämlich an, wie oft im Durchschnitt unter je 1000 Tagen ein jeder der acht Hauptwinde weht.

Länder.	N.	N.-O.	O.	S.-O.	S.	S.-W.	W.	N.-W.
England	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich . . .	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutschland . . .	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden	102	104	80	110	128	210	159	106
Russland	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika . . .	96	116	49	108	123	197	101	210

Wir sehen aus dieser Tabelle, dass im westlichen Europa die Südwestwinde entschieden vorherrschen; besonders ist dies in England der Fall. In Russland dagegen sind die Nordost- und Nordwestwinde vorherrschend.

Der Südwestwind, welcher im westlichen Europa vorherrscht, ist auch auf dem atlantischen Ocean zwischen Europa und Nordamerika der herrschende Wind, und daher kommt es, dass die Ueberfahrt von England nach Nordamerika in der Regel länger dauert als die Rückfahrt. Die Packetboote, welche zwischen Liverpool und New-York fahren, legen den Hinweg durchschnittlich in 40, den Rückweg in 23 Tagen zurück.

Dem im westlichen Europa vorherrschenden Südweststrome, welcher über die warmen Gewässer des atlantischen Oceans gestrichen ist und sich dadurch mit Wasserdämpfen beladen hat, verdankt dieses Land sein Küstenklima. Auch tritt in Europa der Charakter des Seeklimas, nämlich milde Winter und kühle Sommer mit häufigem Regen, in solchen Jahren entschiedener auf, in welchen der Südwestwind häufiger weht; in solchen Jahren hingegen, in welchen die nordöstliche Strömung länger herrscht als gewöhnlich, nähert sich der Charakter der Witterung mehr dem des Continentalklimas. So wehten z. B. im Jahre 1816 zu Paris die Nord-, Nordost-, Ost- und Südostwinde 111 Tage, die übrigen Regen bringenden Winde aber 255 Tage lang, und dieses Jahr war bekanntlich ein ungemein feuchtes; die Regenmenge betrug $54{,}5^{cm}$, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war nur $15{,}6^0$, die des kältesten $2{,}6^0$. Im Jahre 1826 wehten dagegen zu Paris die Nord-, Nordost-, Ost- und Südost-Winde 156 Tage, die übrigen 209 Tage lang; die Regenmenge betrug in diesem Jahre nur $47{,}2^{cm}$, die mittlere Temperatur des wärmsten Monats war $21{,}2^0$, die des kältesten — $1{,}7^0$. Das Jahr 1826 war also trockner, sein Sommer heisser, und sein Winter kälter als im Jahre 1816.

Wenn in gewissen Gegenden der nördlichen Hemisphäre die Südwestwinde die herrschenden sind, so sollte man meinen, dass in anderen Gegenden der Nordoststrom vorherrschen müsse, da doch die Luft zum

Aequator zurückkehren muss. Dove meint, dass die Krümmung der Isothermen darauf hindeutet, dass über die Continente der alten und neuen Welt auf der nördlichen Halbkugel zwei nördliche Ströme gehen, über die zwischenliegenden Oceane aber zwei südliche, die sich eine gewisse Strecke weit über die Continente ausbreiten.

Die Existenz eines vorherrschenden Nordoststroms im Inneren der Continente ist jedoch von Anderen in Zweifel gezogen worden, und in der That zeigen alle bis jetzt gemachten Erfahrungen, dass in höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre entweder Südwest- oder Westwinde vorherrschen. Es scheint darin aber ein Widerspruch zu liegen; es scheint nämlich, als ob auf diese Weise dem Pole mehr Luft zuströmt, als nach dem Aequator zurückkehrt. Dieser Widerspruch lässt sich aber heben, wenn man bedenkt, dass der Südweststrom wärmere, weniger dichte Luft mit sich führt, besonders aber, dass er eine Menge von Wasserdämpfen nach höheren Breiten bringt, welche, hier condensirt, als Regen oder Schnee niederfallen; nach dem Aequator strömt aber nur die ihres Wasserdampfes beraubte Luft in nordöstlicher Richtung zurück; es muss also in der That dem Pole eine grössere Gasmenge zuströmen, weil ein Theil dieser Gase, nämlich der Wasserdampf, nicht in Gasform nach dem Aequator zurückströmt.

215 **Gesetz der Winddrehung.** Obgleich bei einer oberflächlichen Betrachtung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu sein scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, dass die Winde in der Regel in folgender Ordnung auf einander folgen:

Süd, Südwest, West, Nordwest, Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd.

Am regelmässigsten lässt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesem Umschlagen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove sehr schön mit folgenden Worten geschildert:

„Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt; es kann daher nicht mehr schneien, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut den einfallenden kälteren Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich auf, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmälig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen durch die Richtung ihres Entstehens den oben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne noch nichts davon weiss und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers wird die Windfahne Südost, der Himmel bezieht sich

allmälig immer mehr, und mit steigender Wärme verwandelt sich der bei Südost und Süd fallende Schnee bei Südwest wieder in Regen. Nun geht es von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhellung getrennt.“

Nicht immer lässt sich die Drehung des Windes so rein beobachten, wie es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückspringen des Windes stattfindet; ein solches Zurückspringen wird aber weit häufiger auf der Westseite der Windrose beobachtet als auf der Ostseite. Eine vollständige Umdrehung des Windes in entgegengesetzter Richtung, nämlich von Süd nach Ost, Nord, West, wird in Europa höchst selten beobachtet.

Dove hat das Gesetz der Winddrehung auf folgende Weise erklärt:

Wird die Luft durch irgend eine Ursache von den Polen nach dem Aequator getrieben, so kommt sie von Orten, deren Rotationsgeschwindigkeit geringer ist, an solche Orte, welche eine grössere Rotationsgeschwindigkeit besitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine östliche Richtung, wie wir schon beim Passatwinde gesehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entstehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch Nordost in Ost über. Ist auf diese Weise ein Ostwind entstanden, so wird dieser, wenn die Ursache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarstrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem sie sich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator zu strömen, immer noch fortdauert, so springt der Wind nach Norden zurück, und dieselbe Reihe von Erscheinungen wiederholt sich.

Wenn aber, nachdem die Polarströme eine Zeitlang geherrscht haben und die Windrichtung östlich geworden ist, Aequatorialströme eintreten, so wird der Ostwind durch Südost nach Süd umschlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortströmt, so gelangt sie mit der grösseren Rotationsgeschwindigkeit derjenigen Parallelkreise, welche dem Aequator näher liegen, an Orte, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben; sie wird also der von Westen und Osten rotirenden Erdoberfläche mit noch grösserer Rotationsgeschwindigkeit gleichsam voraneilen, die südliche Windrichtung wird allmälig südwestlich und dann westlich werden müssen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu strömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückspringen, gerade so, wie der Ost nach Norden zurückspringt; wenn aber die Aequatorialströmung durch eine Polarströmung verdrängt wird, so schlägt der Westwind durch Nordwest nach Norden um.

Auf der südlichen Halbkugel muss der Wind in entgegengesetzter Richtung umschlagen.

Wo in den Tropen die Passatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche selbst gar keine vollständige Drehung, die Richtung des Passats wird nur bei seinem Vordringen immer mehr östlich.

In der Region der Moussons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung Statt. Man sieht also, dass die Windverhältnisse der Tropen der einfachste Fall des Drehungsgesetzes sind.

216 **Barometrische und thermometrische Windrose.** Es ist schon mehrfach erwähnt worden, dass die Windrichtung einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer hat. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Barometerhöhe für jeden der acht Hauptwinde an mehreren Orten Europas in Millimetern an.

Winde.	London.	Paris.	Berlin.	Moskau.
Nord	759,20	759,09	758,68	743,37
Nordost	760,71	759,49	759,36	745,06
Ost	758,93	757,24	758,77	743,90
Südost	756,83	754,03	754,69	741,74
Süd	754,37	753,15	751,33	740,63
Südwest	755,25	753,52	752,57	740,34
West	757,28	755,57	756,00	741,06
Nordwest	758,03	758,78	756,62	741,76

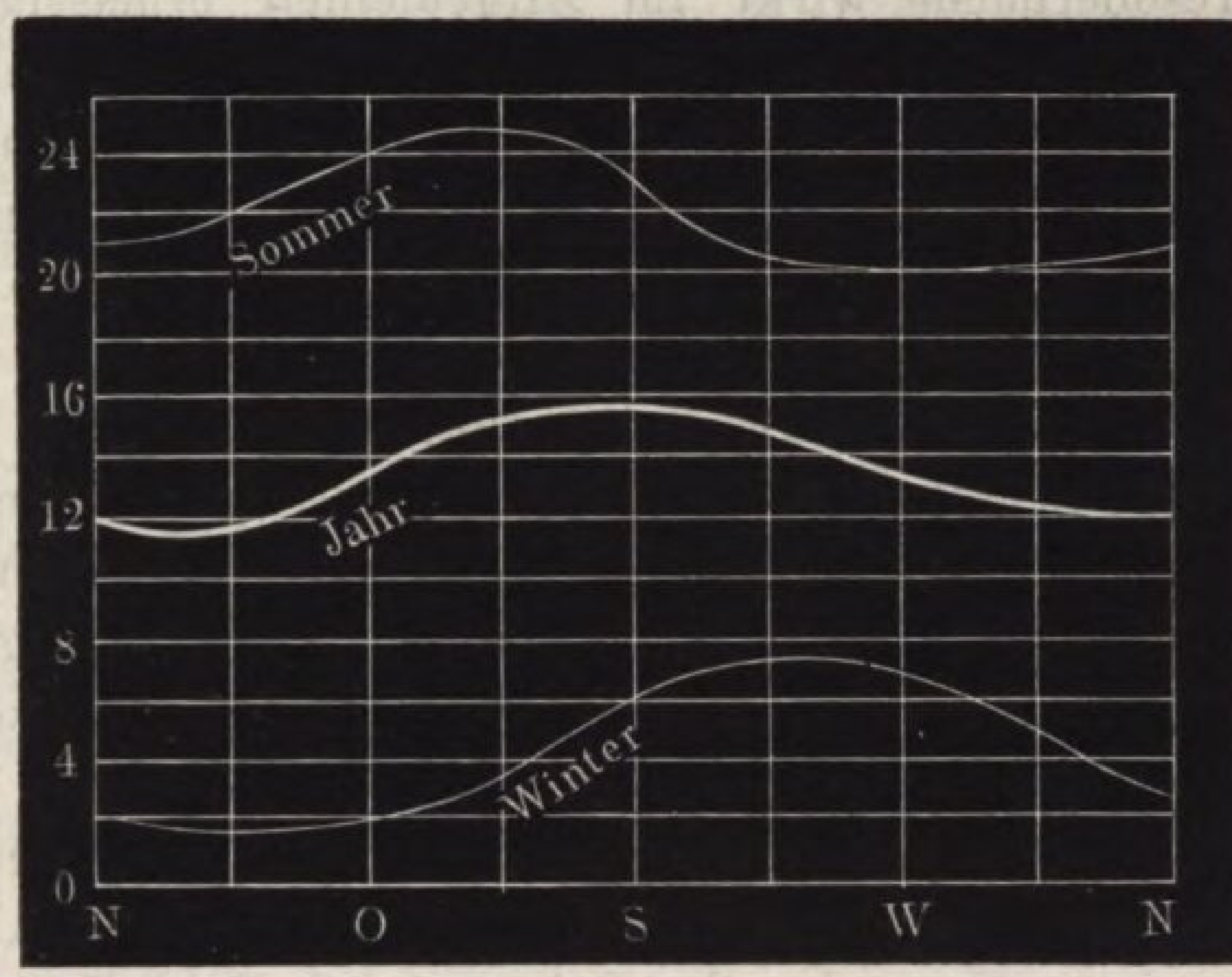
Indem man die mittlere Temperatur aller derjenigen Tage nimmt, an welchen im Laufe des Jahres ein und derselbe Wind weht, erhält man die mittlere Temperatur dieses Windes. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Temperatur der Hauptwinde für mehrere Orte an.

Winde.	Paris.	Carlsruhe.	London.	Moskau.
Nord	12,03	9,88	8,00	1,21
Nordost	11,76	8,30	7,63	1,44
Ost	13,50	8,51	8,38	3,53
Südost	15,25	12,20	9,50	4,63
Süd	15,43	12,61	10,00	5,96
Südwest	14,93	11,00	10,13	5,69
West	13,64	12,20	9,25	5,49
Nordwest	12,39	11,50		3,33

Nach dieser Tabelle ist für Paris die mittlere der drei Curven in Fig. 304 construirt. Man sieht, wie für Paris, sowie für die anderen

angeführten Orte, die Temperatur der Luft im Durchschnitt für die nördlichen Winde niedriger ist als für die südlichen.

Fig. 304.



Die oberste und unterste der drei Curven zeigen, wie sich im Durchschnitt die mittlere Temperatur im Sommer und im Winter zu Paris (und im westlichen Europa überhaupt) mit der Windrichtung ändert. Es zeigt sich hier zwischen Sommer und Winter ein entschiedener Gegensatz. Im Sommer bringen Südwest-, West- und Nordwestwinde die niedrigste Temperatur, während im Winter gerade die Südwest- und Westwinde eine Erhöhung der Lufttemperatur zur Folge haben, und die grösste Kälte bei Nord-, Nordost- und Ostwinden stattfindet. Der Grund davon ist leicht einzusehen. Die westlichen Winde kommen über das Meer zu uns und überziehen den Himmel meistens mit einer Wolkendecke, welche sowohl die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenstrahlen bei Tag, als auch die Erkaltung desselben durch Ausstrahlung der Wärme bei Nacht verhindert. Im Sommer ist die Wirkung der Sonnenstrahlen bei Tag, im Winter dagegen ist die nächtliche Strahlung überwiegend, die Wolkenhülle hindert also im Sommer die stärkere Erwärmung, im Winter die stärkere Erkaltung des Bodens. Dagegen werden im Sommer diejenigen Winde eine grössere Wärme bringen, welche den Himmel heiter machen, während im Winter gerade bei heiterem Himmel die grösste Kälte eintreten muss.

Heisse Winde. Da die Luft ihre Wärme von dem Boden empfängt, auf welchem sie ruht, so ist es begreiflich, dass die Temperatur der Winde von der Beschaffenheit der Gegenden abhängt, von welchen sie herkommen. Winde, welche von den mit Schnee und Eis bedeckten Polar-Gegenden kommen, bringen eine niedrige Temperatur mit, und selbst im Sommer ist in unseren Gegenden der erkaltende Einfluss der Nordostwinde nicht ganz verwischt. Obgleich der Nordost den Himmel hei- 217

ter macht und die kraftvolle Einwirkung der Sonnenstrahlen in dieser Jahreszeit ermöglicht, so findet um diese Zeit doch die grösste Hitze Statt, wenn Ost- und Südostwinde wehen.

Die Meeresoberfläche wirkt im Allgemeinen ermässigend auf die Temperatur der Luft, weil das Wasser selbst die Wärmestrahlen weniger absorbirt als das Festland, und weil eine bedeutende Wärmemenge bei der auf dem Meere fortwährend stattfindenden Verdunstung gebunden wird.

Wo die Sonnenstrahlen nahe rechtwinklig auf einen nicht durch eine Pflanzendecke geschützten Fels- oder Sandboden fallen, da wird der Boden ausserordentlich stark erhitzt werden, und diese hohe Temperatur wird sich auch der Luft mittheilen, welche auf dem erhitzten Boden ruht; es ist deshalb begreiflich, dass die Winde, welche von vegetationslosen Wüsten der Tropen oder ihren benachbarten Landstrichen kommen, sich durch eine hohe Temperatur auszeichnen.

Die von der Wüste her wehenden heissen und trockenen Winde führen in verschiedenen Gegenden verschiedene Namen. In Arabien, Persien und den meisten Gegenden des Orients wird dieser heisse Wind Samum (Giftwind) genannt; in Aegypten, wo er im Frühjahr ungefähr 50 Tage lang weht, heisst er Chamsin (fünfzig), an den westlichen Grenzen der Sahara in Senegambien und Guinea führt er den Namen Harmattan.

Alle Berichte stimmen darin überein, dass sich die Annäherung der Wüstenwinde schon durch eine Verdüsterung des sonst in jenen Gegenden reinen Horizontes ankündigt. Die Luft verliert ihre Durchsichtigkeit, die Sonne ihren Glanz und, blasser als der Mond, wirft sie keinen Schatten mehr, das Grün der Bäume erscheint als schmutziges Blau. Es rührt dies von den Sand- und Staubtheilchen her, welche der Sturm in die Höhe jagt und mit sich fortführt. Gerade dieser Umstand aber trägt dazu bei, die Temperatur der Luft so sehr zu erhöhen; denn wenn der oft bis zu 50^0 R. erhitzte Sand in die Höhe gejagt wird, so geben die einzelnen Sandkörnchen bald einen Theil ihrer Wärme an die Luft ab, deren Temperatur dadurch auf 34 bis 38^0 R. steigt. Dazu ist die Luft ungemein trocken; deshalb verschwindet rasch der Schweiss von der Oberfläche des Körpers, der Gaumen wird trocken, die Respiration schwierig. Ebenso ist das Wasser, welches die Reisenden der Wüste in Schläuchen mit sich führen, unter dem Einfluss des Samums einer raschen Verdunstung ausgesetzt. Nur durch diese Trockenheit, nicht etwa durch eigenthümlich giftige Bestandtheile, wie man wohl früher glaubte, ist der Samum gefährlich. (Kämtz, Meteorologie, I. Bd. S. 267.)

In ähnlicher Weise wie bei den Sandwüsten von Asien und Afrika zeigen sich heisse Winde überall da, wo mehr oder weniger vegetationslose Landstriche eine starke Erhitzung des Bodens gestatten. So sind in Neuholland die vom Lande her kommenden Winde fast immer sehr trocken und heiss.

Im südlichen Europa finden wir noch sehr heisse Winde, so den Solano im südlichen Spanien und den Sirocco in Italien, welcher zu Palermo öfters das Thermometer im Schatten bis auf 36° R. steigen macht. Diese Winde kommen von Afrika her. Auf dem Wege über das Meer verlieren sie zwar etwas von ihrer hohen Temperatur und namentlich von ihrer Trockenheit, allein in den Ebenen von Andalusien und über den nackten Felsen von Sicilien werden sie aufs Neue erhitzt, und so kommt es denn, dass der Sirocco zu Palermo weit heisser ist als an den Südküsten von Sicilien und auf der Insel Malta. Der Sirocco ist stets ein heisser, aber an verschiedenen Localitäten bald feuchter, bald trockener Süd- oder Südostwind.

Ein in neuerer Zeit vielfach besprochener warmer und zugleich trockener Wind ist der Föhn, welcher als eine locale Erscheinung vorzugsweise in den nordöstlichen Abhängen der schweizerischen Alpen auftritt. Das eigentliche Föhngebiet umfasst den unteren Theil des Vorderrheinthals, den Prättigau, das Rheinthal von Chur bis gegen Altstätten hin, das Thal von Bludenz (Vorarlberg), die Kantone Appenzell, Glarus, Uri, Schwyz, die östliche Hälfte von Unterwalden und theilweise das Berner Oberland und das obere Rhonethal. Manchmal werden auch noch dem eigentlichen Föhngebiet benachbarte Gegenden von föhnartigen Winden getroffen.

Die eigentlichen Föhnzeiten sind Herbst, Winter und Frühling. Im Sommer erscheint der Föhn am seltensten und am schwächsten.

Nach den Aussagen der Einwohner der genannten Gegenden frisst der Föhn im Winter den Schnee weg, er bringt die warmen Frühlingstage, er trocknet das Heu auf den Alpen und reift die Trauben in den Bündner Thälern. In den Häusern wird das Feuer des Heerdes oder des Ofens sorgsam gelöscht. In vielen Thälern ziehen die Feuerwachen von Haus zu Haus, um sich von jenem Auslöschen zu überzeugen, da bei der Ausdörrung alles Holzwerkes durch den Wind ein einziger verwahrloster Funke grosses Brandunglück stiften kann. Die beste Auskunft über die physikalische Natur des Föhns verdankt man den innerhalb des Föhngebietes gelegenen schweizerischen meteorologischen Stationen. — Ich selbst erlebte einen Föhnsturm am 15. und 16. August 1868 zu Gersau. Die Lufttemperatur betrug am 16. gegen 11 Uhr Morgens 31,4° C., während das feuchte Thermometer des Psychrometers (s. den entsprechenden Paragraph des nächsten Capitels) auf 19,2° C. stand. Daraus ergiebt sich, dass die Luft nur 26 Procent des Wasserdampfes enthielt, welcher zu ihrer Sättigung nöthig gewesen wäre.

Trotz der grossen Trockenheit, welche während eines Föhnsturmes in den Thälern herrscht, ist der Himmel doch bewölkt und mit dem Nachlassen des Föhns stellt sich Regen- oder Schneefall ein.

Das Barometer fällt während eines Föhnsturmes tief unter seinen mittleren Stand. Die Richtung der Föhnstürme geht vorzugsweise von Süd nach Nord oder von Südost nach Nordwest.

Die hohe Temperatur und die Trockenheit des Föhns hat die Meinung hervorgerufen, als sei er ein die Alpen überschreitender trockener Sirocco und demzufolge suchte man den Ursprung des Föhns in der Sahara. Diese Meinung erhielt eine weitere Stütze dadurch, dass nach den geologischen Untersuchungen von Desor und Escher von der Linth die Sahara jüngeren Alters ist, d. h. dass sie sich erst in einer späteren geologischen Periode über das Niveau des Meeres erhob, was dann eine Erhöhung der Temperatur Europas und die Reduction der früher viel ausgedehnteren Gletscher in den Alpen zur Folge gehabt haben soll; kurz man brachte den Föhn mit dem Aufhören der Eiszeit in einen causalen Zusammenhang.

Gegen diese Ansicht trat zuerst Dove auf, indem er darauf hinwies, dass die von der Sahara aufsteigende trockne Luft in Folge der Rotation der Erde im Allgemeinen nicht nach Norden, sondern nach Nordosten hin abfliessen müsse, also nicht die Alpen, sondern das östliche Europa und Westasien treffen müsse, dass nur in Ausnahmefällen die Luft von der Sahara nach den Alpen gelangen könne, dass also der Föhn auf einen vom atlantischen Ocean her über Europa dahin brausenden Aequatorialstrom zurückzuführen sei. Mühry bezeichnet den Föhn als eine localisirte Aenderung eines allgemein herrschenden Aequatorialstromes und damit stimmt auch Wild überein, welcher den Föhn gleichfalls auf einen in Form eines Wirbelsturmes über Europa dahinbrausenden Aequatorialstrom zurückführt, der theilweise auch noch in das Mittelmeer eindringt. Wenn die Axe eines solchen Wirbelsturmes (siehe den nächsten Paragraph) ungefähr in der Richtung von Bordeaux nach Berlin hinzieht, so wird, da ein solcher Sturm stets von einer bedeutenden Luftverdünnung begleitet ist, die Luft gleichsam aus den nördlichen Alpenthälern herausgesaugt und das Barometer muss bis ganz in die Nähe des Gebirgskammes tief unter seinen mittleren Stand sinken. Auf den Südabhang der Alpen kann sich aber dieses Sinken des Barometers nicht erstrecken, weil die Parthieen des Wirbelsturmes, welche über Norditalien gegen den Wall der Alpen anprallen, hier in ihrem Fortgang aufgehalten, eine Stauung der Luft veranlassen werden.

Sehr schön wird dies durch die Untersuchungen Dufours über den Föhnsturm vom 23. September 1866 erläutert. Nach seinen Zusammenstellungen stand das Barometer an jenem Tage

an den Nordwestküsten Europas um . . .	15 bis 22mm	unter dem Mittel
im mittleren und südlichen Deutschland um	10 „ 17	
in der ebenen Schweiz um	6 „ 14	
in den nördlichen Alpenthälern um	4 „ 10	

auf den hochgelegenen Stationen der Alpenkette um	0,7 bis 1,4mm	über dem Mittel.
zu Athen um	4 „ 5	

Auf der einen Seite der Alpenkette stand also an jenem Föhntage das Barometer unter, auf der anderen Seite stand es über dem Mittel.

Auch über die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse während jenes Föhnsturmes geben uns Dufour's Untersuchungen Auskunft. In der folgenden kleinen Tabelle (ein Auszug aus der weit umfassenderen von Dufour gegebenen) findet man angegeben, wie hoch an den genannten Orten das Thermometer über und um wie viel Procent der Feuchtigkeitsgehalt während des Föhns am 23. September unter dem Mittel aus den drei vorhergehenden und den drei folgenden Tagen stand.

	Temperatur.	Feuchtigkeit.
Basel	+ 3,8⁰ C.	— 9 Procent.
Schwyz	+ 6,5	— 29 „
Altdorf	+ 6,6	— 16 „
Gotthard	+ 0,9	
Faido	— 0,7	+ 14 „

Zu Faido im Ticinothal, südlich vom Gotthard, war also am 23. September 1866 während des Föhnsturmes die Temperatur der Luft niedriger, der Feuchtigkeitsgehalt aber bedeutender als an den drei vorhergehenden und den drei folgenden Tagen, während nördlich vom Gotthard entschieden das Gegentheil stattfand. Während des fraglichen Föhntages war die Temperatur und der Barometerstand im Mittel zu

	Thermometer.	Barometer.
Altdorf	21,8⁰ C.	719mm
St. Gotthard	5,2	593
Faido	14,0	701

es war also zu Altdorf um 16,6⁰ C. wärmer als auf dem Gotthard, während die mittlere Jahrestemperatur für Altdorf die des Gotthard nur um 10⁰ C. übertrifft.

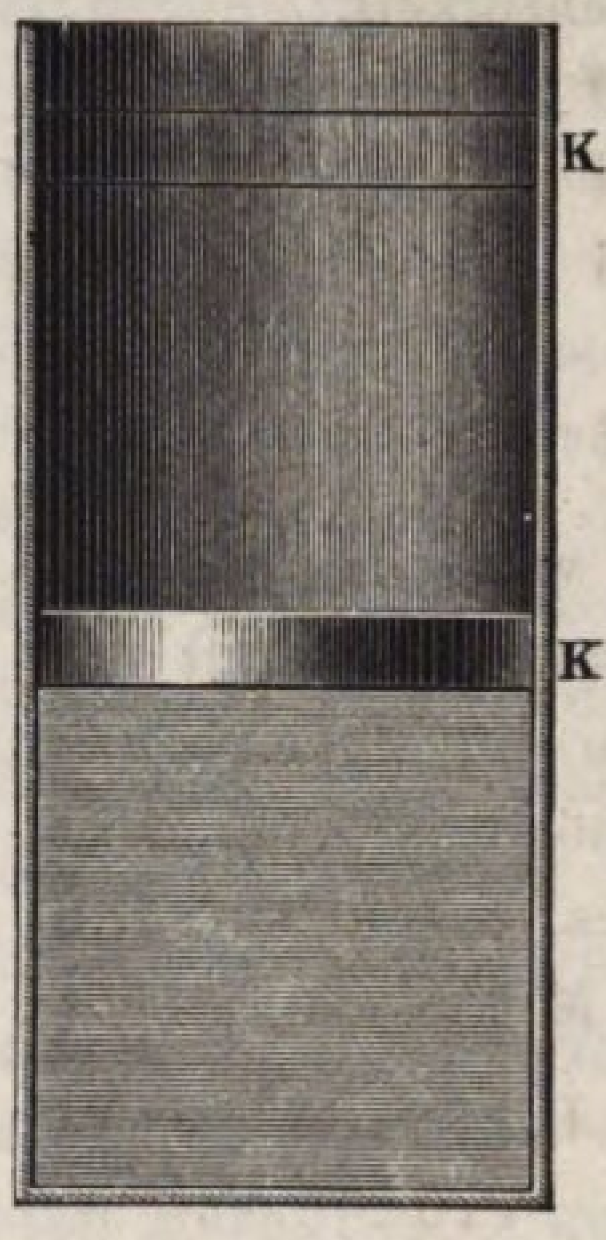
Die hohe Temperatur und Trockenheit des Föhns in den nördlichen Alpenthälern ist, wie dies von mehreren Naturforschern angedeutet, namentlich aber von Wild und von Hann ausgeführt worden ist, auf den Umstand zurückzuführen, dass die vom Kamm des Gebirges sich rasch ins Thal hinabsenkende Luftmasse eine namhafte Verdichtung und in Folge der dabei frei werdenden Wärme eine Temperaturerhöhung erfährt.

Wir wollen dies an einem speciellen Beispiel nachweisen. Die von Süden her gegen die Alpen anstürmende Luftmasse ist genöthigt, an dem Südabhange des Gebirges in die Höhe zu steigen, mit diesem Aufsteigen ist aber eine Ausdehnung, also auch eine Wärmebindung und eine Temperaturerniedrigung verbunden, welche aber zum Theil dadurch neutralisirt wird, dass die Abkühlung der mit Feuchtigkeit gesättigten Luft eine theilweise Condensation von Wasserdämpfen, also auch ein Freiwerden der Wärme zur Folge hat. So kommt es denn, dass an dem genannten Föhntage die Temperatur-Differenz zwischen Faido

(nur wenig höher gelegen als Altdorf) und dem Gotthard nur 14 — 5,2 = 8,8° C. beträgt. Auf dem Kamme des Gotthards ist die Luft bei 5,2° C. unter einem Barometerstand von 593^{mm} mit Feuchtigkeit gesättigt. Bis Altdorf herabstürzend wird die Dichtigkeit dieser Luft im Verhältniss von 593 zu 719 vermehrt und wir wollen nun berechnen, welche Temperaturerhöhung eine solche Verdichtung zur Folge haben muss.

Denken wir uns 1 Liter Luft von 593^{mm} Spannkraft in einem hohlen Cylinder, Fig. 305, von 1 □-Decimeter Basis durch einen beweglichen Kolben *K* abgesperrt, welcher sich 1 Decimeter hoch über dem Boden befindet, so müsste der Kolben um 1,75 Centimeter, oder was dasselbe ist, um 0,0175 Meter hinabgedrückt werden, wenn die Spannkraft der eingeschlossenen Luft bis zu 719^{mm} gesteigert werden soll. Die Arbeit, welche durch dieses Niederdrücken des Kolbens geleistet wird, ist nahezu dieselbe, als ob für den ganzen vom Kolben zurückgelegten Weg die Spannkraft der Luft nicht eine von 593 bis 719 Millimeter wachsende, sondern eine gleichbleibende, dem Mittel aus den beiden Grenzwerthen gleiche, also 656 Millimeter betragende, wäre. — Um aber der abgesperrten Luft, wenn ihre Spannkraft 656 Millimeter betrüge, das Gleichgewicht zu halten, müsste der von aussen gegen den Kolben auszuübende Druck $103{,}3\,\frac{656}{760} = 89$ Kilogramme betragen. Demnach ist die Arbeit, welche geleistet wird, wenn man den Kolben unter den erwähnten Umständen um 0,0175 Meter niederdrückt,

Fig. 305.



$$89 \,.\, 0{,}0175 = 1{,}56 \text{ Meterkilogramm.}$$

Dieser Arbeit entspricht aber eine Wärmemenge von

$$\frac{1{,}56}{425} = 0{,}00367 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Wenn einer Luftmenge von q Kilogrammen eine Wärmemenge von w Calorien mitgetheilt wird, so beträgt die dadurch hervorgebrachte Temperaturerhöhung

$$t = \frac{w}{q \,.\, c} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

in welcher Gleichung man in unserem Falle für c die specifische Wärme der Luft bei constantem Volum, also 0,17, zu setzen hat. Setzen wir in Gl. 1) ferner $w = 0{,}00367$, für q das Gewicht eines Liters Luft von 593 Millimeter Spannkraft, also $q = 0{,}001293\,\frac{593}{760} = 0{,}001$ Kilogramm, so kommt

$$t = \frac{0{,}00367}{0{,}001\ .\ 0{,}17} = 21{,}5^0\ C.,$$

indem also die Luft vom Gotthard bis Altdorf herunterstürzend im angegebenen Verhältniss comprimirt wird, müsste ihre Temperatur um 21,5° C. erhöht werden, wenn alle durch diese Verdichtung entwickelte Wärme nur der comprimirten Luft selbst zukäme. Obgleich dies aber nicht der Fall ist, bleibt doch noch eine Temperaturerhöhung von 21,8 — 5,2 = 16,6° für die niederstürzende Luftmasse übrig. Diese Luftmasse muss aber eine sehr trockene sein, da sie nur für 5,2° mit Wasserdampf gesättigt ist.

Eine dem Föhn ganz ähnliche Erscheinung tritt an den südwestlichen Küsten des Caspischen Meeres auf (Jelinek, Zeitschrift für Meteorologie II, 161). Ein im Winter plötzlich auftretender Südwest steigert, obgleich er von dem schneebedeckten Elbrusgebirge herabweht, nicht nur die Temperatur gewaltig, sondern er trocknet alles Holz dermaassen aus, dass der Feuersgefahr wegen jedes Feuer im Lande ausgelöscht werden muss.

Stürme. Die Geschwindigkeit des Windes ist eine sehr veränder- 218
liche Grösse. Ein Wind, dessen Geschwindigkeit nicht über 4 Fuss in der Secunde beträgt, ist kaum merklich. Bei einer Geschwindigkeit von 6 bis 8 Fuss in der Secunde ist der Wind angenehm. Ein starker Wind hat 30 bis 40, ein heftiger Wind hat 40 bis 60 Fuss Geschwindigkeit in der Secunde. Geht die Geschwindigkeit des Windes über diese Gränze hinaus, so wird er Sturm genannt. Die stärksten Stürme, deren Geschwindigkeit 120 bis 150 Fuss in der Secunde (30 bis 37 deutsche Meilen in der Stunde) beträgt, werden mit dem Namen Orkane bezeichnet.

Von der mechanischen Gewalt eines solchen Orkans kann man sich einen Begriff machen, wenn man bedenkt, dass er bei der angegebenen Geschwindigkeit gegen eine Oberfläche von 1 Quadratfuss, welche der Richtung des Sturmes rechtwinklig entgegengesetzt ist, einen Druck von 30 bis 50 Pfunden ausübt.

Furchtbar sind in der That die Verheerungen, welche solche Stürme anrichten. Der grosse Sturm, welcher in der Nacht vom 26. auf den 27. November 1703 Frankreich, England und die Niederlande heimsuchte, stürzte in England 800 Häuser und 400 Windmühlen um; durch denselben wurden 250 000 mächtige Baumstämme zersplittert oder entwurzelt, 100 Kirchen abgedeckt und der Leuchtthurm von Eddystone umgeworfen; 390 Schiffe gingen an der Küste zu Grunde.

Im November 1836 wüthete ein Sturm an den Küsten von Frankreich und Belgien. In Ostende war kaum ein Haus, welches nicht entdacht gewesen wäre, und so gross war der Bedarf an Ziegeln, dass ihr Preis von 16 auf 30 Gulden fürs Tausend stieg.

Noch weit furchtbarer ist die Gewalt der Orkane in der heissen Zone. Westindien wird sehr häufig von Stürmen heimgesucht, welche

unter dem spanischen Namen Tornados (Drehstürme) oder dem englischen Hurricanes bekannt sind. Nach einem Sturme, welcher am 2. August 1837 einen Theil der westindischen Inseln verwüstete, sperrten die Trümmer von 36 Schiffen den Hafen von St. Thomas; das Fort am Eingang desselben war so zerstört, als ob es durch eine Batterie eingeschossen worden wäre; Vierundzwanzigpfünder waren von den Wällen heruntergerissen. In St. Bartholome wurden durch diesen Sturm 250 Gebäude zerstört, und von den 33 in Portorico vor Anker liegenden Schiffen konnte keines gerettet werden, obschon man, durch das bedeutende Sinken des Barometers gewarnt, alle möglichen Vorsichtsmaassregeln getroffen hatte.

Am 10. August 1831 wurde Barbadoes von einem Sturm getroffen, welcher die Umgebung von Bridgetown in eine Wüste verwandelte. Bis auf einige Flecken welken Grüns war alle Vegetation vernichtet. Einige wenige Bäume, welche stehen geblieben waren, gewährten, ihrer Blätter und Zweige beraubt, einen kalten, winterlichen Anblick, und die zahlreichen Landsitze in der Nähe von Bridgetown, vorher von dichten Gebüschen beschattet, lagen nun frei in Trümmern.

219 **Verminderung des Luftdrucks bei Stürmen.** Der tiefste Punkt der Witterungsscala an unseren gewöhnlichen Zimmerbarometern ist mit „Sturm" bezeichnet, und in der That sind die Stürme stets von einer bedeutenden Verminderung des Luftdrucks begleitet. Während des erwähnten Sturmes vom 2. August 1837 sank zu Portorico das Barometer um 18, zu St. Thomas um 21 Linien. Auf St. Mauritius stand das Barometer am 6. März 1836 Morgens 5 Uhr noch auf 337‴ und fiel bis zum 8. März um 8 Uhr bis auf 318‴, während ein furchtbarer Orkan auf der Insel hauste.

Am 18. Januar 1818 fiel das ohnehin schon tief stehende Barometer zu Königsberg um 8 Linien, während ein Sturm von den englischen Küsten bis Memel, auf einer Strecke von 240 Meilen Länge und 41 Meilen Breite, seine verwüstende Kraft äusserte.

Am Weihnachtsabend des Jahres 1821 sank während eines heftigen Sturmes das Barometer zu Brest um 22, zu London um 22, zu Harlem und Paris um 18, zu Strassburg um 16, zu Berlin und Genf um 13 Linien unter den mittleren Stand.

Scoresby empfiehlt den Seeleuten dringend den Gebrauch des Barometers. Durch ein Fallen seines Schiffsbarometers um 9,3 Linien aufmerksam gemacht, entrann er am 5. April 1819 in der Baffinsbai den Gefahren eines zwei Tage lang wüthenden Sturmes.

Jedenfalls sind die Stürme stets die Folge einer bedeutenden Störung im Gleichgewicht der Atmosphäre, und höchst wahrscheinlich rührt diese Störung von einer raschen Condensation der Wasserdämpfe her. Durch eine solche Condensation wird aber nicht bloss unmittelbar eine Luftverdünnung erzeugt, sondern auch, weil bei Rückkehr der Dämpfe

aus dem gasförmigen in den tropfbar flüssigen Zustand stets viel Wärme frei wird, ein mächtig aufsteigender Luftstrom, in Folge dessen dann von allen Seiten die Luft mit Gewalt nach den Orten der Verdünnung hinströmt, während das Minimum des Luftdruckes selbst eine fortschreitende Bewegung hat.

Dies ist die Erklärung, welche Brandes von der Entstehung der Stürme gegeben hat. Dove hat aber nachgewiesen, dass diese Theorie einer wesentlichen Modificirung bedarf, wenn sie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung gebracht werden soll; er hat gezeigt, dass die Windrichtung, wie man sie zu Anfang und zu Ende des Sturmes beobachtet, nicht mit der Annahme eines einfachen, geradlinigen Hinströmens der Luft nach dem Orte der grössten Luftverdünnung harmonirt, dass vielmehr die Luft um das im Raum fortschreitende barometrische Minimum rotirt, kurz, dass die Stürme Wirbel im grossartigsten Massstabe sind.

Während des Sturmes vom 24. auf den 25. December 1821 schritt das Minimum des Luftdrucks von Brest bis zum Cap Lindenäs (an der Südspitze von Norwegen), also in der Richtung des Pfeils AC, Fig. 306 (a. f. S.), vor. Nach der früheren Theorie hätte also in London zu Anfang des Sturmes ein Nordost, zu Ende desselben ein Südwest wehen müssen, während in der That zu London die Windfahne anfangs Südost zeigte und dann rasch in Nordwest umschlug.

Nach Dove's Sturmtheorie schreiten in der nördlichen gemässigten Zone bei Stürmen die barometrischen Minima, also die Mittelpunkte der Wirbelbewegung in der Richtung von Südwest nach Nordost vorwärts, wobei die Rotationsrichtung die in der Figur angedeutete ist, nämlich entgegengesetzt dem Laufe des Zeigers einer Uhr. — Nach dieser Theorie musste in der That London Südostwind haben, als die Luft um den Punkt A wirbelte, dagegen musste in London Nordwest wehen, nachdem B und später C der Mittelpunkt der Wirbelbewegung geworden war.

Südöstlich von dem Wege, auf welchem die Mittelpunkte der Wirbel fortschreiten, muss nach Dove's Theorie, wie man aus der Betrachtung des Punktes o, Fig. 306, ersieht, der Wind zu Anfang des Sturmes mit SSO einsetzen und dann durch S, SW, W nach WNW umschlagen, wie es zu Harlem wirklich stattfand. In Orten, welche von dem Mittelpunkte des Sturmes entfernter liegen, wie r oder s, muss der Wind nach der Theorie zu Anfang des Sturms S oder SSW, zu Ende desselben WSW sein, und in der That drehte sich zu Karlsruhe während des Sturmes die Windfahne von S nach SW.

Auf der Nordwestseite des Sturmes schlägt der Wind von OSO durch O, NO, N nach NNW um.

Für die Seefahrer ergeben sich daraus folgende praktische Regeln, um in der nördlichen gemässigten Zone so viel als möglich dem Bereich eines sie treffenden Wirbelsturmes zu entgehen: Wenn bei stark fallendem Barometer der Wind als Südost einsetzt und sich durch Süd nach West hindreht, so muss das Schiff nach Südost hinsteuern; setzt hin-

gegen der Wind in östlicher Richtung ein, um nach Nord hin umzuschlagen, so muss das Schiff nach Nordwesten steuern (Dove in Poggendorff's Annal. LII.).

Fig. 306.



Redfield in New-York ist durch sorgfältige Untersuchung der Erscheinungen, welche die an den Küsten der Vereinigten Staaten häufigen Stürme begleiten, ganz zu denselben Resultaten gelangt, welche Dove für Europa erhalten hatte.

220 **Richtung der Stürme in der heissen Zone.** Ueber die tropischen Stürme hat Reid, Gouverneur der Bermudas-Inseln, ein reiches Material in einem Werke niedergelegt, welches im Jahre 1838 zu London unter dem Titel: „An attempt to develop the law of storms" etc. erschien. Aus Reid's Untersuchungen ergiebt sich, dass auch die Stürme der tropischen Zone Wirbel sind.

Die Richtung, in welcher die Wirbel rotiren, ist für die nördliche Hälfte der heissen Zone dieselbe, wie die im vorigen Paragraphen betrachtete; dagegen schreiten die westindischen Hurrikans in der

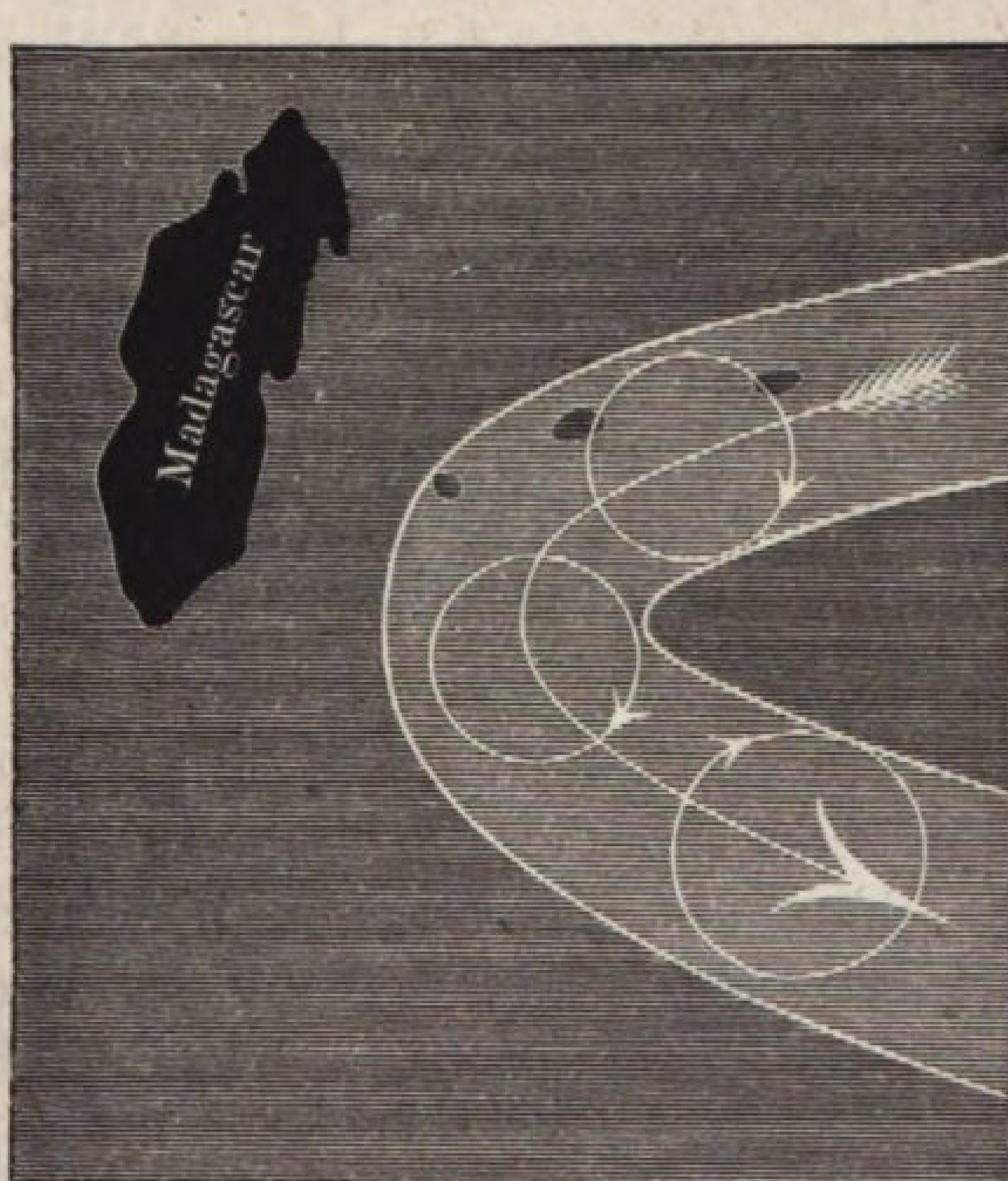
Richtung von Südost nach Nordwest vor, so lange sie in der tropischen Zone bleiben; sobald sie aber in die gemässigte Zone gelangen, biegen sie fast rechtwinklig um und gehen nun von Südwest nach Nordost, wie man dies auf dem Kärtchen Fig. 307 sieht, welches den Verlauf des Sturmes darstellt, welcher in der Mitte August 1837 die östlichsten der westindischen Inseln traf.

Fig. 307.



Von den zahlreichen Beispielen, welche Reid für dieses Verhalten der westindischen Stürme beibringt, wollen wir nur noch eines anführen. Der dicht bei den kleinen Antillen vorbeistreifende Sturm vom August 1830 traf St. Thomas am 12., war am 13. in der Nähe der Turks-Inseln, am 14. bei den Bahamas, am 15. an den Küsten von Florida, am 16. längs der Küste von Georgien und Carolina, am 17. an denen von Virginien, Maryland und New-York, am 18. auf der Georgsbank und Cap Sable, am 19. auf der New-Foundlandsbank. Das Fortrücken dieses Sturmes betrug also im Durchschnitt $13^1/_2$ deutsche Meilen in der Stunde. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Sturm überhaupt fortschreitet, ist übrigens wohl zu unterscheiden von der ungleich grösseren Geschwindigkeit, mit welcher die Luft in den Wirbeln fortgerissen wird.

Fig. 308.



Auf der südlichen Hemisphäre ist die Richtung der Sturmwirbel die entgegengesetzte von der bisher betrachteten. Innerhalb der heissen Zone geht das Minimum des Luftdrucks in der Richtung von Nordost nach Südwest voran, biegt aber beim Uebergang in die südliche gemässigte Zone in die nordwestliche Richtung um, wie das Kärtchen Fig. 308 zeigt, welches

den Verlauf eines Sturmes darstellt, welcher im März 1809 die Insel St. Mauritius traf.

Die unter dem Namen der Tyfoons in den chinesischen Meeren bekannten Stürme schreiten von O nach W oder von OSO nach WNW fort, während die Rotationsrichtung der Wirbel dieselbe ist wie auf dem nördlichen atlantischen Ocean.

221 **Tromben und Wasserhosen.** Wir haben bisher nur Wirbelwinde im grossartigsten Maassstabe betrachtet; ganz ähnliche Erscheinungen finden aber auch im kleinsten Maassstabe Statt. Oft sieht man an heissen Sommertagen bei sonst ruhigem Wetter, dass Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herannahenden Gewittern sieht man schon grössere Luftwirbel der Art, welche ausser Staub und Sand noch Blätter, Stroh, kleine Baumzweige u. s. w. mit in die Höhe nehmen. Wirbelwinde von grösseren Dimensionen und grösserer mechanischer Gewalt werden Wettersäulen oder Tromben genannt. Wahrscheinlich werden sie durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengesetzter Richtung wehenden Winde erzeugt. Wenn solche Wirbel über Land hinwegziehen, so bilden sie aus dem aufgewühlten Staub einen oben an Breite abnehmenden Kegel, welcher den Weg des Wirbels von weitem sichtbar macht; zieht aber das Meteor über das Meer, über Seen oder Flüsse hin, so wird in gleicher Weise das Wasser in wirbelnder Bewegung mit in die Höhe gerissen, und so entstehen die Wassertromben oder Wasserhosen.

Solche Tromben sind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuser abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte weit fortzuschleudern. Mohr giebt im 36. Bande von Poggendorff's Annalen eine sehr instructive Beschreibung einer am 1. Mai 1835 zu Coblenz beobachteten Trombe, welcher wir Folgendes entnehmen.

Um halb drei Uhr bildete sich am Fusse des Alexander-Forts, im Felde von Neuendorf, ein Wirbelwind, der rasch zu einer fürchterlichen Stärke heranwuchs, Sand und Staub aufwühlte und mit sich fortführte. Er nahm seine Richtung von Nordwest nach Südost, gerade auf die Landspitze zu, welche das linke Rhein- und das linke Moselufer mit einander bilden. Eine Frau, welche mit einem Korbe auf dem Kopfe aus dem Felde kam, wurde durch die Trombe zu Boden geworfen und der Korb hoch durch die Luft auf die andere Rheinseite fortgeführt. Die Staubwolke, welche wirbelnd über die Erde fortzog, war grau von Farbe und undurchsichtig. Sie hatte eine schräge Lage nach der Strömung des Windes, in den höheren Regionen mit dem oberen und breiteren Theile nach vorn, den unteren schmäleren gleichsam nach sich ziehend. Sie hatte die scheinbare Form eines Trichters, dessen Spitze nach unten gekehrt einen Durchmesser von 30 bis 40 Fuss hatte, dessen oberer Durchmesser aber 3- bis 4mal so gross war. An Höhe hatte sie bald alle nahe gelegenen Häuser weit überstiegen.

Die Bewegung dieser Trombe war von einem fürchterlichen Sausen begleitet. Der erste höhere Gegenstand, welchen sie traf, war eine Saffianfabrik. Unter fürchterlichem Geprassel wurde das Dach des hinteren Gebäudes losgerissen und über das Hauptgebäude hinweg etwa 40 Schritte weit ins Feld geschleudert. Fenster wurden zertrümmert, Laden und Fensterflügel herausgerissen und Alles weit herumgestreut. Die auf dem Speicher aufgehangenen Häute wurden von der Trombe fortgerissen, so dass man sie wie schwarze Vögel hoch in den Lüften dahinfliegen sah.

Von da bewegte sich die Trombe rasch gegen die etwa noch 100 Schritte entfernte Mosel hin, wo sich das ganze Schauspiel veränderte. Die Erdtrombe wurde nämlich eine Wasserhose; sie wühlte das Wasser in so wildem Brausen auf, dass es auf der ganzen Basis schäumend auf eine bedeutende Höhe wirbelnd hinaufgezogen wurde, während ausserhalb des Wirkungskreises der Wasserspiegel weder gestört noch getrübt wurde. Der Durchmesser des Trichters nahm über die Hälfte des Flussbettes ein. Auf der Landspitze angekommen, welche das rechte Mosel- mit dem linken Rheinufer bildet, an der Ecke des ehemaligen deutschen Hauses, schien das Meteor einige Augenblicke stille zu stehen, setzte aber alsbald seinen Weg in gerader Richtung über den Rhein gegen Ehrenbreitstein hin fort.

Auf der rechten Rheinseite angekommen, warf es das Wasser 8 bis 10 Fuss hoch auf das Land, nahm ein 60 Ellen langes Stück Leinen von der Bleiche hoch in die Luft, so dass man es wie eine Bandschleife umherflattern sah. Sieben Bäume von 6 bis 8 Zoll Durchmesser wurden abgebrochen, Aeste von 4 bis 6 Zoll Dicke abgerissen und umhergeschleudert, womit dann das Meteor so ziemlich sein Ende erreichte.

Wenige Minuten nach dem Aufhören desselben fiel ein heftiger Platzregen mit starkem Hagel.

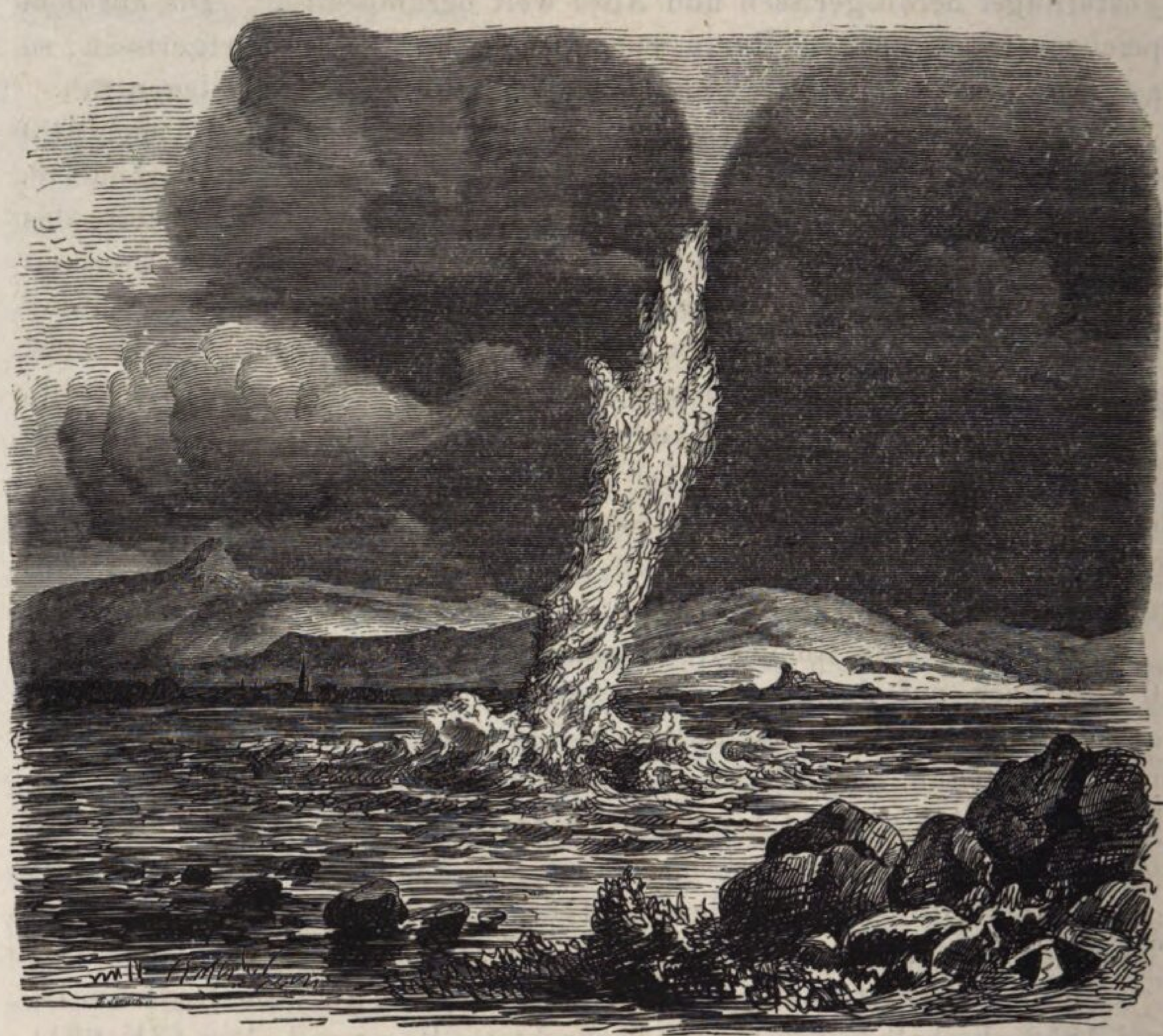
Fig. 309 a. f. S. stellt eine Wasserhose dar, welche G. vom Rath am 10. Juni 1858 oberhalb Königswinter beobachtete (Poggend. Ann. CIV, 631). Die Wettersäule bildete sich zuerst bei dem Dorfe Honnef als Landtrombe, ungeheure Staubmassen aufwühlend; aus den feineren Staubtheilchen bildete sich eine als dunkler Streif erscheinende Säule, deren Höhe Rath auf 2000 Fuss schätzte. Als die Trombe in ihrer fortschreitenden Geschwindigkeit den Spiegel des Rheins erreichte, erhob sich das Wasser im Umfang eines Kreises, dessen Durchmesser 50 Schritte betragen mochte, und bildete eine Schaumsäule, deren Anblick an einen gothischen Thurm erinnerte. Ein mittlerer Strahl sprang hoch über mehrere seitliche hervor, aus der Wolkenmasse aber senkte sich eine helle Wolkenspitze herab, welche sich nach einiger Zeit mit der Spitze der Wassersäule vereinigte, worauf dann der den Wasserspiegel mit den Wolken verbindende Streif seiner ganzen Länge nach in gleicher Breite erschien.

Zwischen Rolandseck und Mehlem erreichte die Trombe das linke Rheinufer, um alsbald wieder auf den Rhein zurückzukehren. Das Phä-

nomen endete, nachdem es ungefähr 35 Minuten gedauert hatte, bei Rhöndorf auf dem rechten Rheinufer.

Von den Häusern, welche die Wettersäule traf, wurden die Ziegel heruntergeworfen, starke Aeste wurden von den Bäumen gerissen und

Fig. 309.



die Saaten niedergelegt. Die Breite der so bezeichneten Bahn betrug im Durchschnitt 50 Schritt.

Am 8. April 1833 wurde die Gegend von Calcutta von einem Wirbelwinde heimgesucht, welcher in Beziehung auf seine Grösse zwischen den eigentlichen Stürmen und den Tromben in der Mitte steht. Bei einem Durchmesser von 1200 bis 2500 Fuss ging dieser Wirbel 3 englische Meilen östlich von Calcutta vorüber und legte in einem Zeitraume von 4 Stunden einen Weg von 15 englischen Meilen zurück. Er warf über 1200 Fischerhäuser um und tödtete 215 Menschen.

222 **Telegraphische Witterungsberichte.** Bereits im Eingange des dritten Buches der kosmischen Physik ist erwähnt worden, welch grosser Unterschied zwischen der Sicherheit astronomischer und meteo-

rologischer Vorausbestimmungen besteht. Unter vielen anderen Ursachen, welche diese Verschiedenheit bedingen, spielt aber auch jedenfalls der Umstand eine Rolle, dass die zu einer bestimmten Stunde an irgend einer einzelnen meteorologischen Station gemachten Beobachtungen die Data gar nicht enthalten, aus welchen man etwa auf die Veränderungen schliessen könnte, welche sich im Zustande der Atmosphäre vorbereiten.

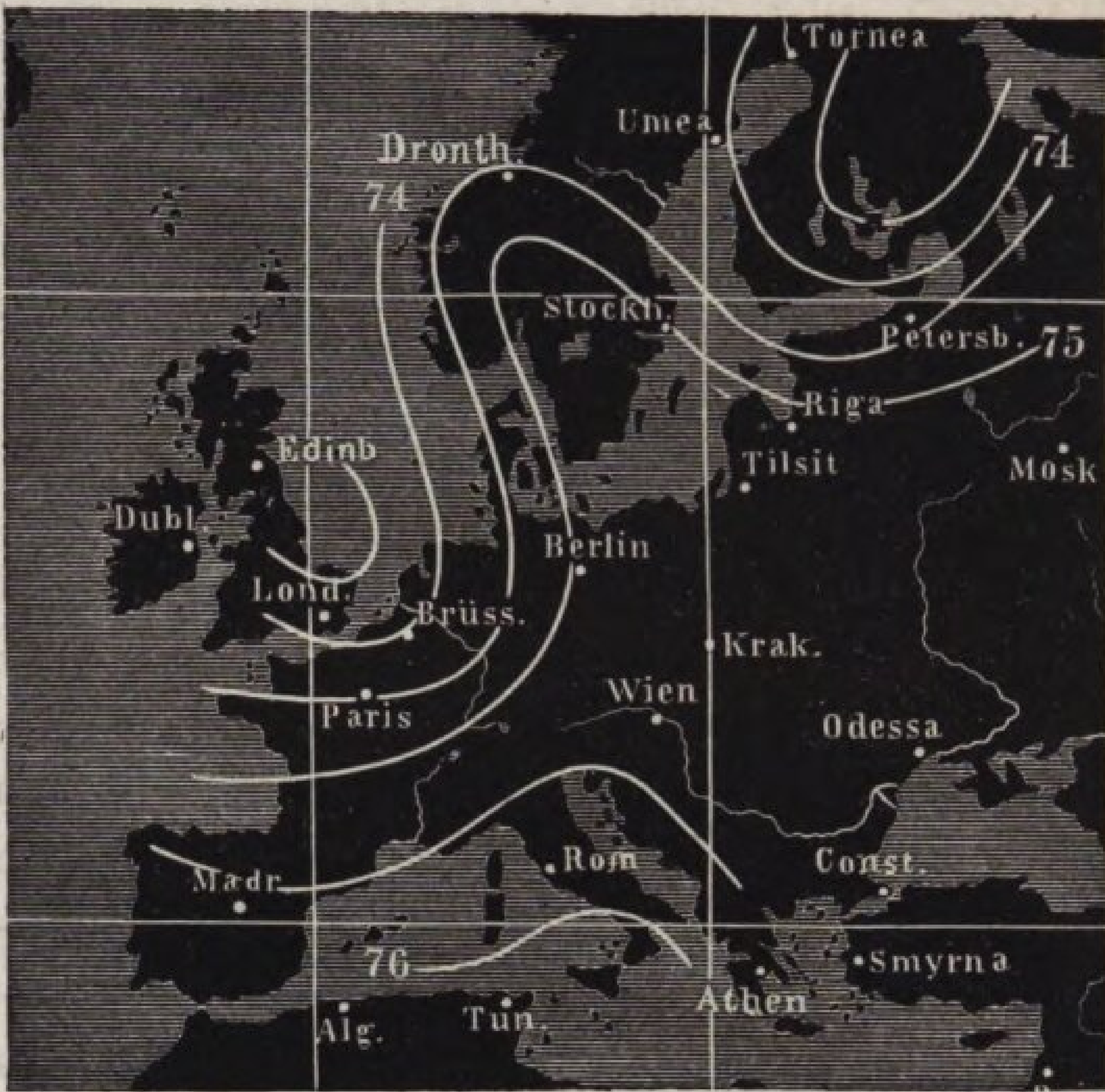
Zu diesem Zwecke ist für den Zeitpunkt, in welchem man die zunächst zu erwartenden Witterungsänderungen ermitteln will, die Kenntniss der gleichzeitig über einem grösseren Umkreis herrschenden Witterungsverhältnisse unumgänglich nöthig, eine solche Kenntniss kann aber nur durch den elektrischen Telegraphen vermittelt werden.

Der erste, welcher diese Idee realisirte, dürfte wohl Le Verrier gewesen sein, welcher der Pariser Akademie nach den auf telegraphischem Wege eingegangenen meteorologischen Beobachtungen von verschiedenen Stationen eine Karte vorlegte, welche den atmosphärischen Zustand Frankreichs für den 26. Februar 1855 darstellte. Aus diesem Anfang gingen dann später die telegraphischen Witterungsberichte hervor, welche in dem Bulletin international de l'Observatoire de Paris zusammengestellt für jeden Tag eine Uebersicht des Zustandes der Atmosphäre von fast ganz Europa liefern.

Von 21 französischen (darunter Dünkirchen, Brest, Bordeaux, Bayonne, Lyon, Marseille und Ajaccio) und 42 auswärtigen Stationen (darunter 7 englische, Nairn in Schottland, Valentia in Irland, Greenwich etc.; 8 spanische: Tarifa an der Meerenge von Gibraltar, Palma, Corunna etc.; 6 italienische: Rom, Neapel, Palermo etc.; 7 russische: Petersburg, Moskau, Odessa etc.; 3 schwedische: Stockholm, Haparanda am nördlichen Ende des bottnischen Meerbusens etc.; 2 norwegische, 2 portugiesische: Lissabon und Oporto; 2 niederländische und endlich Bern und Brüssel) wurden bis zur Belagerung von Paris jeden Tag die Morgens im Sommer um 7 und im Winter um 8 Uhr angestellten meteorologischen Beobachtungen, nämlich: der aufs Niveau des Meeres reducirte Barometerstand, die Lufttemperatur, Richtung und Stärke des Windes, der Zustand des Himmels und der Zustand des Meeres für die Seestädte nach Paris telegraphirt. Die auf diese Weise eingelaufenen Nachrichten über den Luftdruck wurden sodann (vorzugsweise im Interesse der Schifffahrt) an 15 verschiedene Stationen (darunter 6 französische) telegraphirt, so z. B. nach Florenz und Rom für die italienischen Küsten, nach Wien für die östliche Küste des adriatischen Meeres, nach Brüssel und Utrecht für die Nordsee, nach Petersburg, Stockholm, Lissabon, Madrid und Bern. Sämmtliche in Paris angekommenen Data werden aber in dem täglich durch die Post versendeten Bulletin international zusammengestellt, welchem seit 1867 eine Karte von Europa mit der Lage der Isobaren (Linien gleichen Barometerstandes) für jeden Tag beigegeben ist. Die Figuren 310 bis 315 sind die Copieen von 6 solchen dem Bulletin ent-

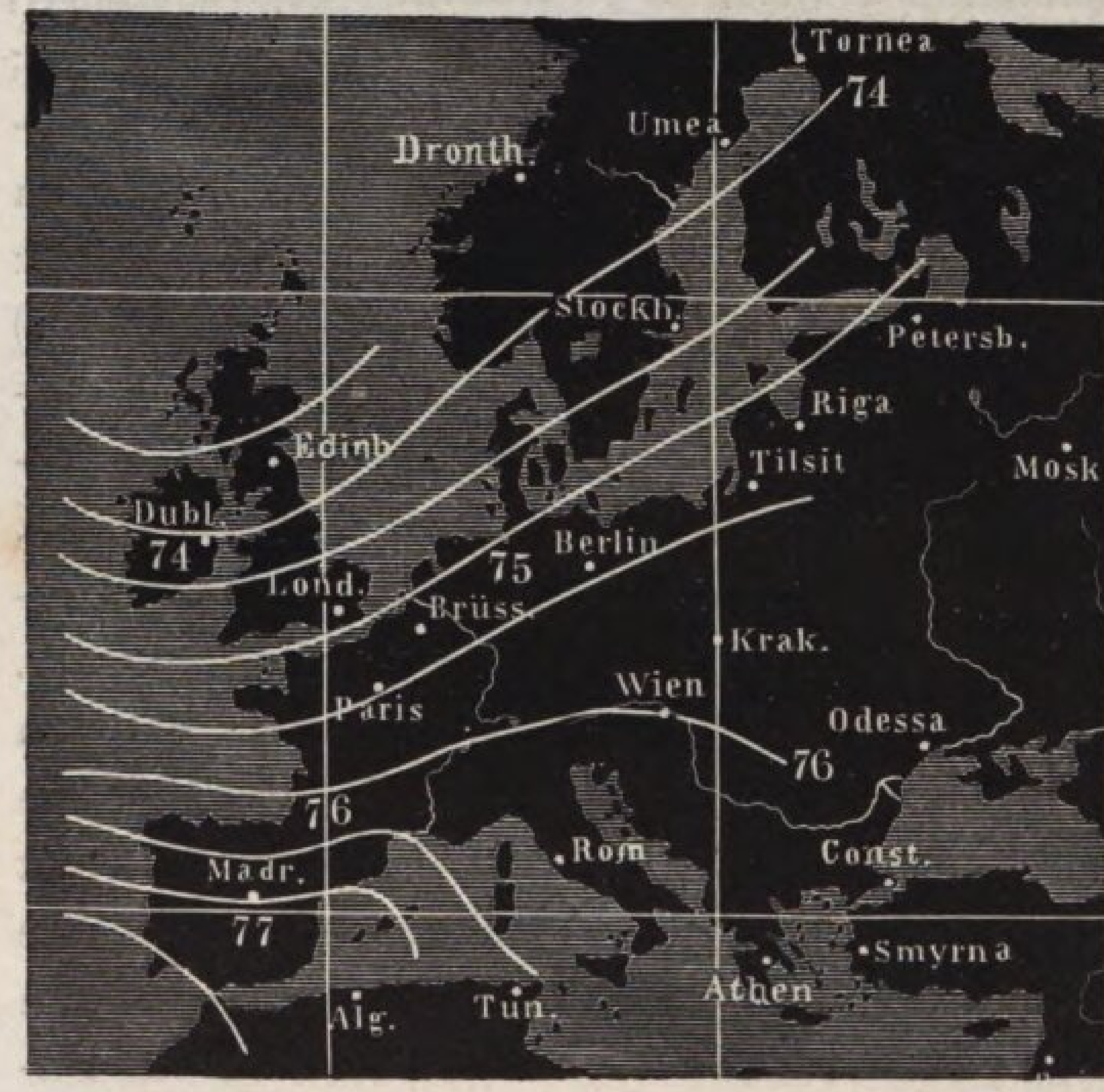
nommenen Kärtchen. Die mit 74, 75 78 bezeichneten Curven entsprechen einem Barometerstand von 740, 750 780 Millimetern. Die Curve zwischen 74 und 75 verbindet die Orte, für welche im bezeichneten Momente der Barometerstand 745mm betrug; die Curve jenseits 74 entspricht dem Barometerstand von 735mm, welche der Karte Fig. 310 zufolge am 10. Januar Morgens 8 Uhr in der Gegend von Cambridge und einem Theil der Nordsee geherrscht hat.

Fig. 310.



10. Januar 1867.

Fig. 311.

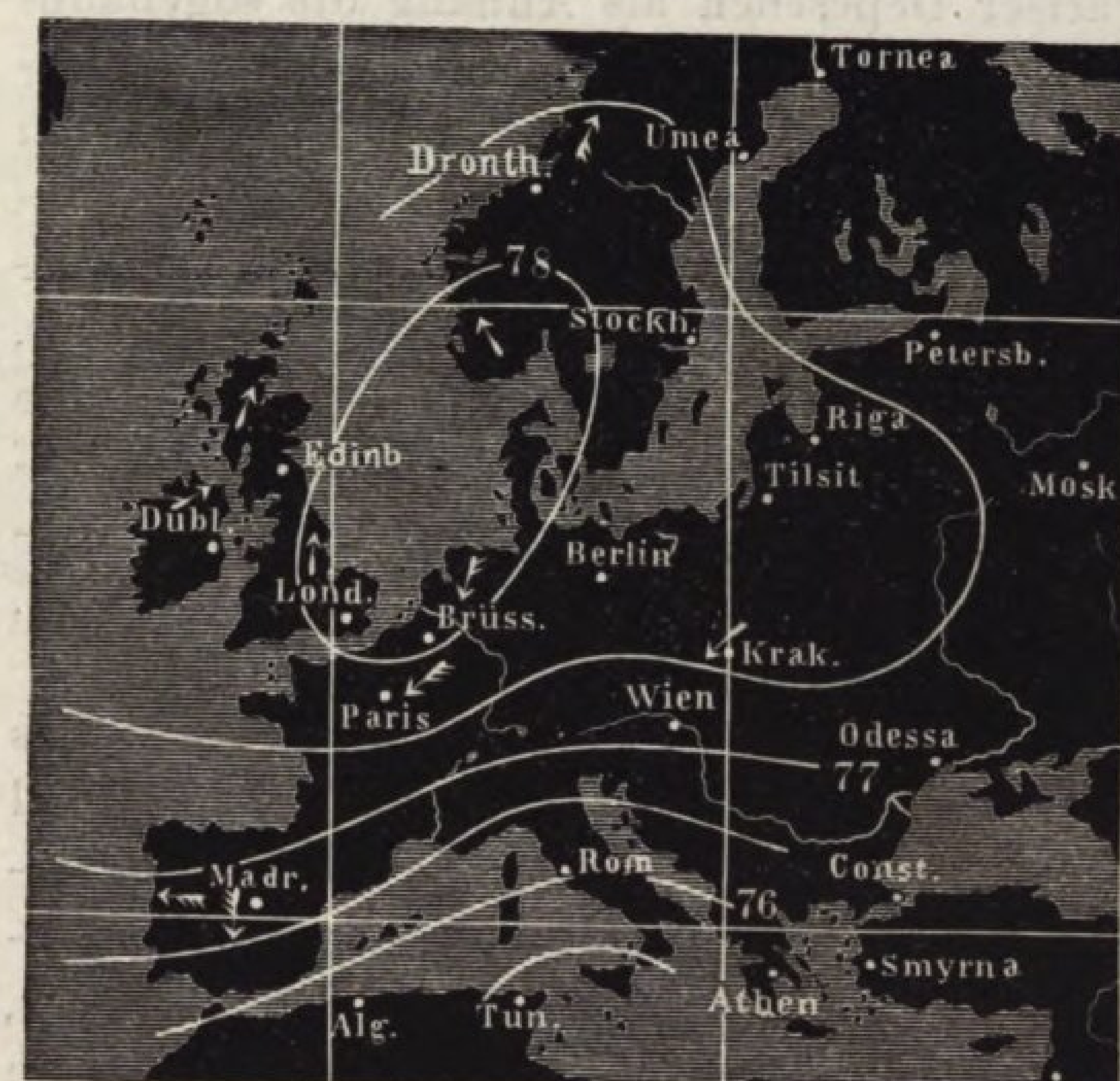


5. Februar 1867.

In den Kärtchen des Bulletin international ist für jede Station der telegraphisch gemeldete Barometerstand eingetragen und die Windrichtung durch einen kleinen Pfeil bezeichnet. Die Stärke des Windes ist durch Strichelchen angedeutet, welche auf der einen Seite des Pfeilschaftes um so zahlreicher angesetzt sind, als der Wind heftiger weht. Ein Pfeil ohne Seitenstrich (⟶) bezeichnet einen ganz schwachen Wind, während seitliche Strichelchen (⟶ ⟶) um so stärkeren Wind anzeigen, je mehr ihrer angebracht sind. Sechs Strichelchen (⟶) oder (⟶) sind das Zeichen für den heftigsten Sturm. In unseren Kärtchen sind der Kleinheit des Maassstabes wegen die Barometerstände der einzelnen Stationen weggelassen und die Windpfeile des Beispiels halber nur hie und da aufgetragen.

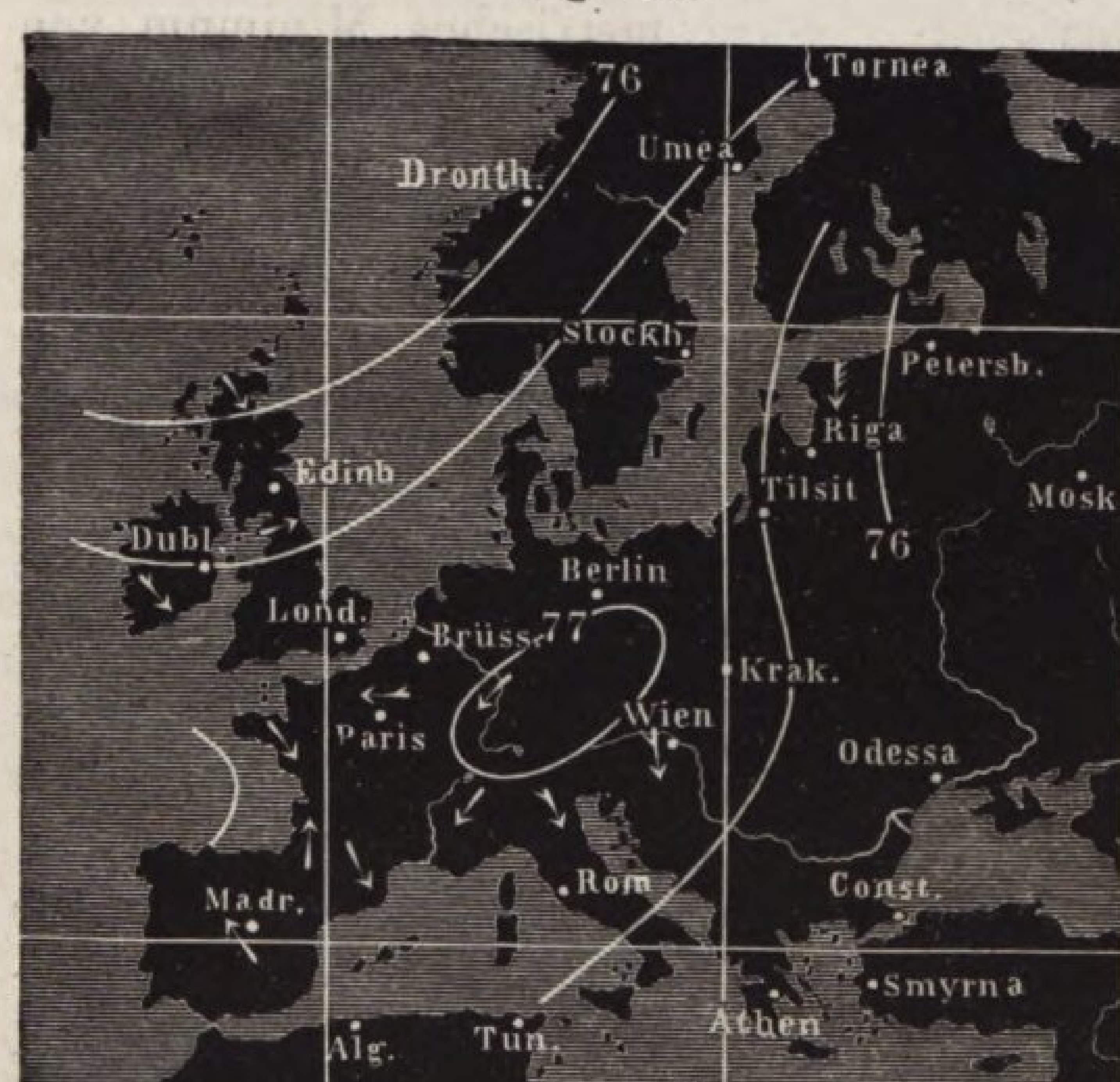
Ausser der tabellarischen Zusammenstellung der telegraphisch eingetroffenen Data und der erwähnten Karte enthält das Bulletin unter dem Titel „Situation générale“ noch eine Charakterisirung der Witterungszustände für den genannten Tag; so z. B. für den 10. Januar 1867.

Fig. 312.



2. März 1867.

Fig. 313.



12. Juni 1867.

Heute giebt es in Europa zwei Depressionscentra. Das eine in Russland entspricht einem Windstoss (bourrasque), welcher aus nördlichen Regionen kommend nach Südost fortschreitet und zu Haparanda Schneefall veranlasst. — Das zweite barometrische Minimum befindet sich über der Nordsee; es ist dies das Centrum des stürmischen Wetters, welches seit dem letzten Freitag (4. Januar) an den Küsten des Canals La Manche und des atlantischen Oceans herrscht. Dieses von Südwest nach Nordost fortschreitende Centrum ist durch den Einfluss der scandinavischen Gebirge in der Nordsee aufgehalten worden; es scheint sich jetzt in südöstlicher Richtung gegen Dänemark und Polen zu wenden.

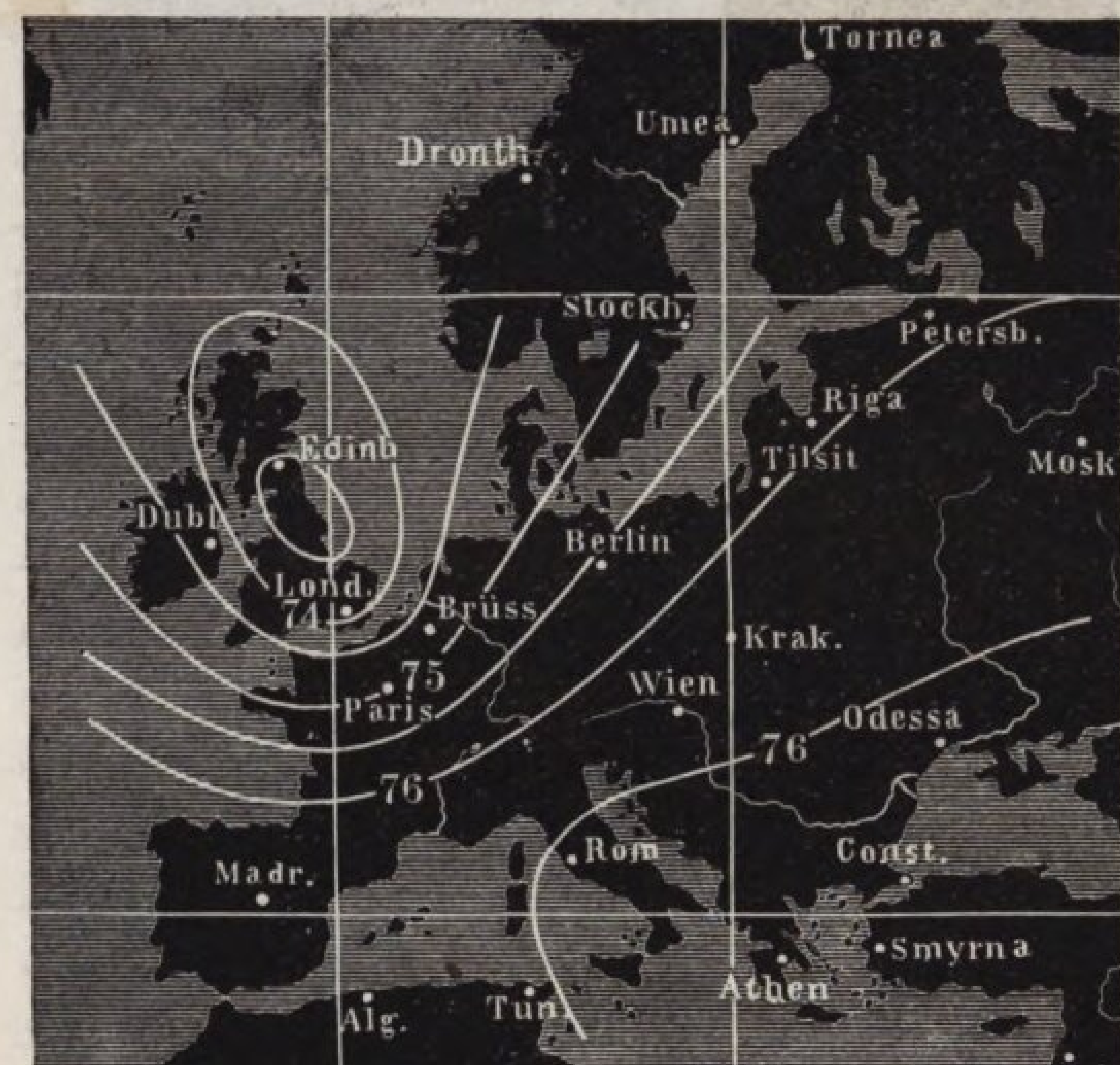
In dem Bulletin vom 2. März heisst es: Im Norden Europas ist der Druck der Atmosphäre im Zunehmen; er beträgt heute Morgen 783^{mm} zu Skudesnäs (Norwegen) und Gröningen. Zu Paris ist er 777^{mm}.

Ueber dem grössten Theile Europas wehen Nordostwinde und zwar meist in mässiger Stärke. Die Erkaltung der Luft wird mehr und mehr

merklich. Um 8 Uhr Morgens betrug sie — 2,6° zu Paris, — 1,0° zu Boulogne, — 2,3° zu Besançon, — 4,3° zu Wien, + 2,0° zu Skudesnäs, — 19,1° C. zu Petersburg.

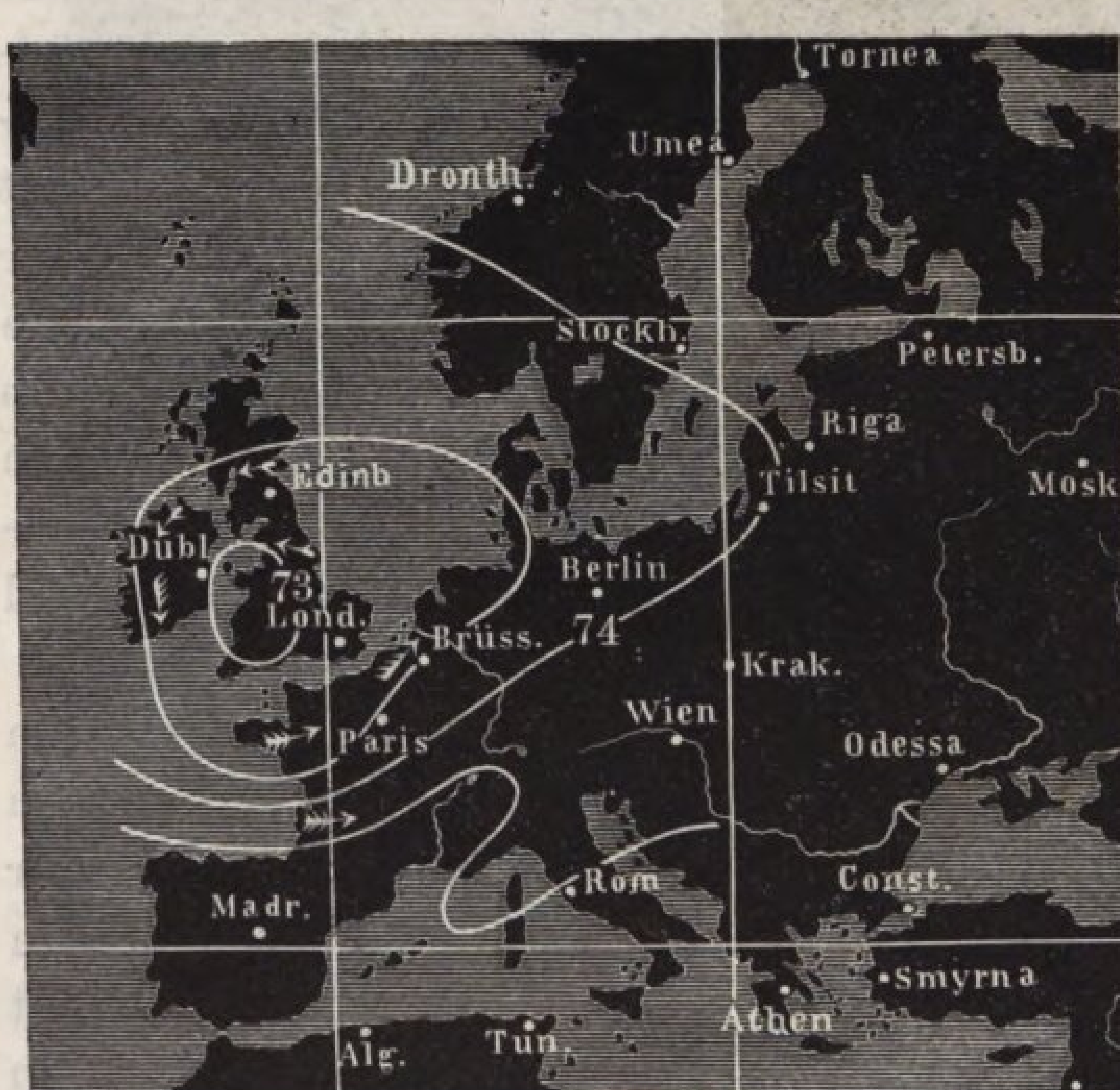
Früher enthielten die Pariser Depeschen als Anhang die sogenannten Probabilités, d. h. Vorherbestimmungen der wahrscheinlichen Witterung für den nächsten Tag. Seit dem 27. October 1865 ist die Veröffentlichung dieser Probabilités, wahrscheinlich in Folge von Meinungsverschiedenheiten zwischen Le Verrier und Marie Davy, eingestellt worden.

Fig. 314.



3. December 1863.

Fig. 315.



15. November 1864.

Ein sehr interessantes und instructives Beispiel bieten die Witterungsverhältnisse vom 15. November 1864, 8 Uhr Morgens, welche, so weit es die Kleinheit des Maassstabes erlaubt, in Fig. 315 dargestellt sind. Ein barometrisches Minimum von 729mm befindet sich auf den Westküsten Englands, umgeben von einer fast kreisförmigen Isobare von 730mm. Die Isobare von 735mm streift die Westküsten von Irland, schneidet Schottland, tangirt die Ostküsten von Schleswig-Holstein und läuft durch Holland und Belgien nach der Mündung der Loire.

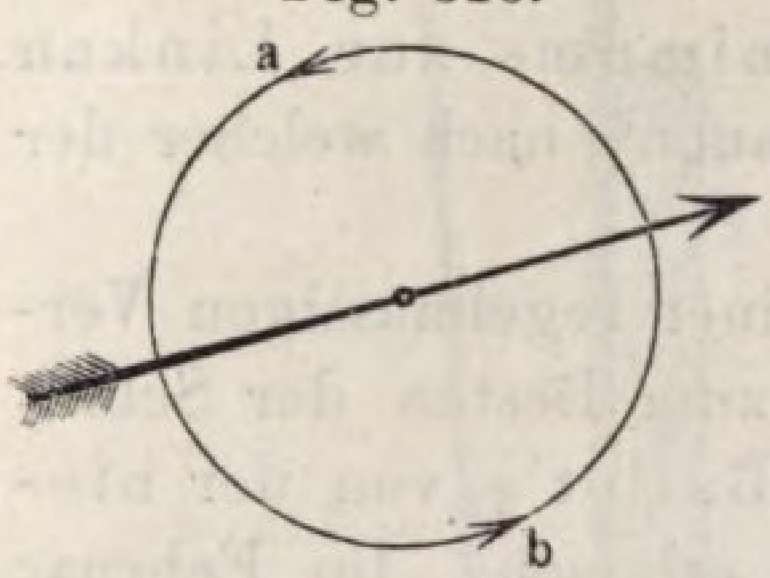
Dieses barometrische Minimum bildet das Centrum eines Wirbelsturmes, welcher nach den im vorigen Paragraphen besprochenen Gesetzen rotirt, denn wir finden östliche und nordöstliche Winde in Schottland, nordwestliche

zu Valentia und Plymouth, westliche in L'Orient, Rochefort, Bordeaux, Bilboa, südwestliche und süd-südwestliche in Bourbon-Vendee, Cherbourg, Paris, Havre, Mézières, Boulogne, Brüssel u. s. w.

Ein Blick auf die Karte zeigt, dass bei einem derartigen Sturme die Windrichtung im Allgemeinen nicht weit vom Parallelismus mit den benachbarten isobarischen Curven abweicht.

Eine andere höchst wichtige Bemerkung, welche sich bei Betrachtung der Karte Fig. 315 aufdrängt, ist die, dass die Winde auf der Nordost-, Nord- und Nordwestseite des Centrums von mässiger Stärke sind, während sie auf der Südwest-, Süd- und Südostseite mit grosser Heftigkeit wehen. Die Südhälfte des Wirbelsturmes ist also bei weitem gefährlicher als die Nordhälfte. Es ist dies leicht zu erklären. In Fig. 316 stelle der kleine Kreis einen Wirbelsturm dar, welcher, wie dies ja für die europäischen Stürme der Fall ist, in einer dem Zeiger einer Uhr entgegengesetzten Richtung rotirt, und dessen Centrum in der Richtung des gefiederten Pfeiles fortschreitet, so ist klar, dass bei a die Rotationsrichtung des Wirbels der Richtung entgegengesetzt ist, nach welcher er fortschreitet, dass also hier der Wind nur mit der Differenz der beiden Geschwindigkeiten auftreten kann, während er bei b mit der Summe dieser beiden Geschwindigkeiten wüthet.

Fig. 316.



Leider hat das Bulletin international durch die Belagerung von Paris eine Unterbrechung erfahren. Möge die Reorganisation desselben recht bald erfolgen und möchten bei dieser Gelegenheit die Lücken des Netzes ausgefüllt werden, welche bis dahin noch bestanden.

Ein eigenes System telegraphischer Witterungsnachrichten besteht in Oesterreich sowohl wie auch in Russland. Bereits im Jahre 1858 sandten 32 Stationen Nordamerikas ihre meteorologischen Beobachtungen auf telegraphischem Wege nach Washington, wo in dem Gebäude der Smithsonian Institution täglich eine grosse Karte ausgestellt wurde, welche die gleichzeitig über einem grossen Theile der Vereinigten Staaten herrschende Witterung darstellte.

Welche Vortheile dem Studium der Witterungskunde aus diesen telegraphischen Witterungsberichten erwachsen werden, ist zu einleuchtend, als dass man deshalb noch viele Worte zu verlieren nöthig hätte.

Sturmwarnungen. Die telegraphischen Witterungsberichte fördern aber nicht allein die wissenschaftliche Entwickelung der Meteorologie, sie sind auch für die Schifffahrt von dem grössten unmittelbaren Nutzen. Der elektrische Telegraph kann die Nachricht von dem Auftreten eines Sturmes an irgend einem Küstenpunkte verbreiten, seinen Lauf verfolgen und rechtzeitig die Häfen warnen, welche derselbe möglicher Weise heimsuchen kann. Ja! aus der Gestaltung der nach tele- 223

graphischen Witterungsberichten construirten Isobaren lässt sich das Eintreffen von Stürmen voraussehen, ehe man dieselben an irgend einer Station wirklich beobachtet hat.

Bei tiefem Barometerstande ist allerdings eher stürmische Witterung zu erwarten, als bei hohem, doch kann man einen tiefen Barometerstand allein keineswegs als ein sicheres Vorzeichen von Stürmen betrachten; viel bedenklicher als ein tiefer Barometerstand überhaupt ist ein rasches Sinken des Barometers; das sicherste Vorzeichen hereinbrechender Stürme besteht aber darin, dass die Isobaren dicht gedrängt um ein barometrisches Minimum herum liegen, wie dies z. B. am 3. December 1863 der Fall war (Fig. 314).

Aus dem Verlauf der Isobaren lässt sich aber nicht allein das Hereinbrechen eines Sturmes überhaupt, sondern auch die wahrscheinliche Windrichtung angeben, denn ein Beobachter, welcher sich so aufstellt, dass er die Stelle des barometrischen Minimums zur Linken hat, wird ungefähr nach der Weltgegend hinschauen, nach welcher der zu erwartende Wind hinweht.

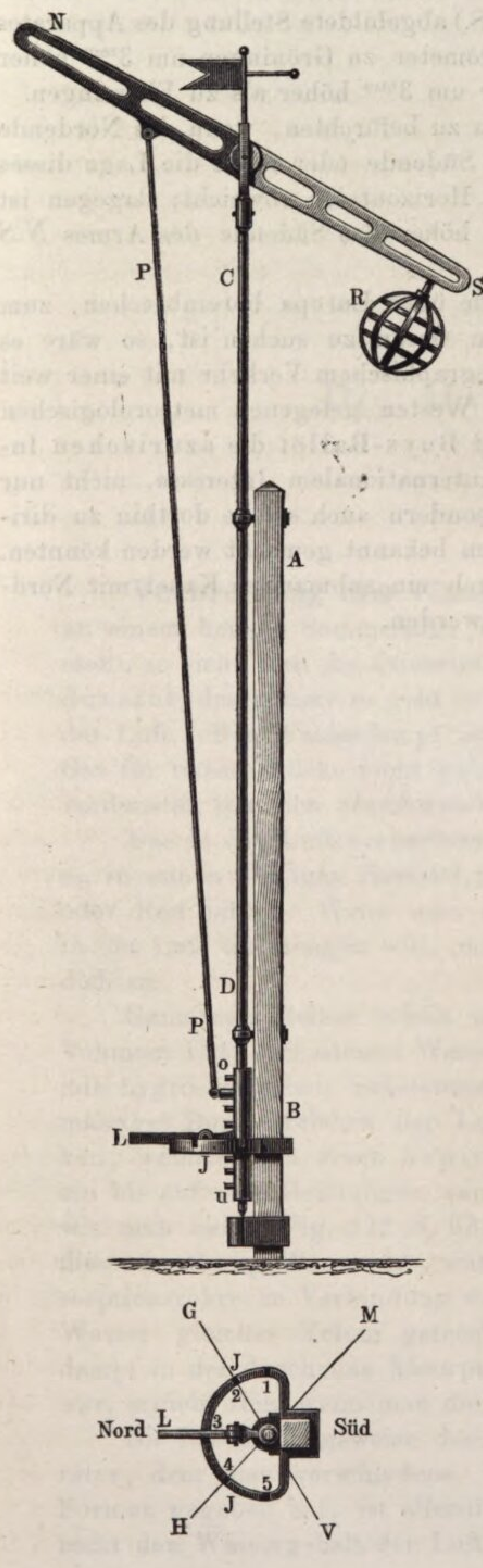
Die erste Regierungsverordnung in Betreff einer regelmässigen Veröffentlichung telegraphischer Witterungsberichte zum Besten der Schifffahrt wurde auf wiederholtes Andringen Buys-Ballot's von der niederländischen Regierung am 21. Mai 1860 erlassen. Im Februar 1861 geschah dasselbe für England, im August 1863 für Frankreich u. s. w.

Die englischen Sturmsignale, welche an den verschiedenen Hafenorten aufgehisst werden, wenn denselben die telegraphische Meldung atmosphärischer Störungen zukommt, welche das Hereinbrechen eines Sturmes vermuthen lassen, besteht bei Tag aus einem Cylinder von Weidengeflecht, welcher 3 Fuss Durchmesser hat und 3 Fuss hoch ist, des Nachts aber aus vier Laternen, welche in solcher gegenseitigen Stellung angebracht sind, dass sie ein Quadrat von 4′ Seite bilden. Die gleichen oder ähnliche Sturmsignale sind auch in anderen Ländern eingeführt worden.

In den Niederlanden hat Buys-Ballot Sturmsignale eingeführt, welche er Aëroklinoskope nennt und welche den Vorzug haben, jederzeit den Zustand der Atmosphäre anzudeuten. An dem quadratischen Pfahle AB Fig. 317 ist eine starke eiserne Röhre CD angebracht, welche mittelst des Hebels L um ihre verticale Axe gedreht und in einer bestimmten Stellung festgestellt werden kann, indem man den Hebel L in eine der Einkerbungen des gleichfalls an AB befestigten eisernen Bogens JJ einsetzt. Die eiserne Röhre CD trägt an ihrem oberen Ende einen beweglichen Arm NS, dessen Neigung gegen die Horizontale mittelst der Stange PP regulirt werden kann, indem man ihr unteres Ende an den einen oder den anderen der zwischen o und u befindlichen eisernen Stifte ansteckt.

Der Zweck dieser Vorrichtung ist die Differenz der Barometerstände

Fig. 317.



zwischen zweien der vier niederländischen Stationen Gröningen, Helder, Vliessingen und Mastrich anzudeuten, deren telegraphisch nach Utrecht gemeldete Beobachtungen von hier aus den verschiedenen niederländischen Häfen mitgetheilt werden. Nach diesen Mittheilungen wird dann die Einstellung des Aëroklinoskops besorgt. Der Hebel L wird in die Einkerbung bei 1 eingesetzt, wenn die Differenz des Barometerstandes zwischen Gröningen und Helder oder zwischen Mastrich und Vliessingen bezeichnet werden soll; er wird bei 2 eingesetzt, wenn es sich um Gröningen-Vliessingen, bei 3, wenn es sich um Gröningen-Mastrich oder Helder-Vliessingen, bei 4 endlich, wenn es sich um Helder-Mastrich handelt.

Der besseren Unterscheidung wegen ist die nördliche Hälfte des Armes NS roth, die südliche aber weiss angestrichen, ausserdem aber ist an dem südlichen Arme eine aus Blechstreifen gebildete Kugel R befestigt.

Zwischen o und u sind im Ganzen 9 eiserne Stifte angebracht. Wird das untere Ende der Stange PP an den mittleren Stift angesteckt, so steht der Arm NS wagerecht, was anzeigt, dass der Barometerstand auf den nördlicheren Stationen dem auf den südlicheren gleich ist. Steht das Barometer auf der nördlichen Station um 1, 2, 3, 4 Millimeter tiefer als auf der südlicheren, so wird das untere Ende der Stange PP an dem 1., 2., 3., 4. Stift unter dem mittleren angesteckt, umgekehrt wird das untere Ende von PP an einen der 4 oberen Stifte ange-

steckt, wenn das Barometer auf der südlichen Station tiefer steht als auf der nördlichen. Die in Fig. 317 (a. v. S.) abgebildete Stellung des Apparates würde also anzeigen, dass das Barometer zu Gröningen um 3^{mm} höher steht als in Mastrich, oder in Helder um 3^{mm} höher als zu Vliessingen.

Man hat zunächst keinen Sturm zu befürchten, wenn das Nordende des Armes NS höher steht als das Südende oder wenn die Lage dieses Armes überhaupt nicht viel von der Horizontalen abweicht; dagegen ist das Wetter um so bedenklicher, je höher das Südende des Armes NS in die Höhe steht.

Da der Herd der Stürme, welche über Europa hereinbrechen, zum grössten Theil auf dem atlantischen Ocean zu suchen ist, so wäre es von der grössten Wichtigkeit, in telegraphischem Verkehr mit einer weit von den europäischen Küsten nach Westen gelegenen meteorologischen Station zu stehen, und als solche hat Buys-Ballot die azorischen Inseln vorgeschlagen. Es wäre von internationalem Interesse, nicht nur von dort Warnungen zu erhalten, sondern auch solche dorthin zu dirigiren, welche vorbeisegelnden Schiffen bekannt gemacht werden könnten. Die Azoren könnten dann weiter durch ein submarines Kabel mit Nordamerika (Newfoundland) verbunden werden.

Drittes Capitel.

Die Hydrometeore.

Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft. Wenn man an einem heissen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Schale ins Freie stellt, so sieht man die Quantität des Wassers rasch abnehmen; es verdunstet, das heisst: es geht in Dampfgestalt über und verbreitet sich in der Luft. Der Wasserdampf ist wie jedes andere farblose durchsichtige Gas für unsere Blicke nicht wahrnehmbar, das Wasser scheint, indem es verdunstet, gänzlich verschwunden zu sein. 224

Das in der Luft verbreitete Wasser wird erst wieder sichtbar, wenn es, in seinen flüssigen Zustand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet. Wenn man sich von der Existenz des Wasserdampfs in der Luft überzeugen will, muss man ihn auf irgend eine Weise verdichten.

Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem bestimmten Volumen Luft enthaltenen Wasserdampfs, wenn man die Luft durch ein mit hygroskopischen Substanzen gefülltes Rohr saugt. Um ein regelmässiges Durchstreichen der Luft durch das Absorptionsrohr zu bewirken, wendet man einen Aspirator an. Es ist dies im Wesentlichen ein bis auf zwei Oeffnungen verschlossenes mit Wasser gefülltes Gefäss, wie man bei *D* Fig. 322 S. 638 eines sieht. Aus der einen Oeffnung fliesst beständig Wasser ab, während die andere Oeffnung mit dem Absorptionsrohre in Verbindung steht, so dass hier ein dem ausfliessenden Wasser gleiches Volum getrockneter Luft eintritt. Wie viel Wasserdampf in der durch das Absorptionsrohr gesaugten Luftmenge enthalten war, ergiebt sich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Versuche wägt.

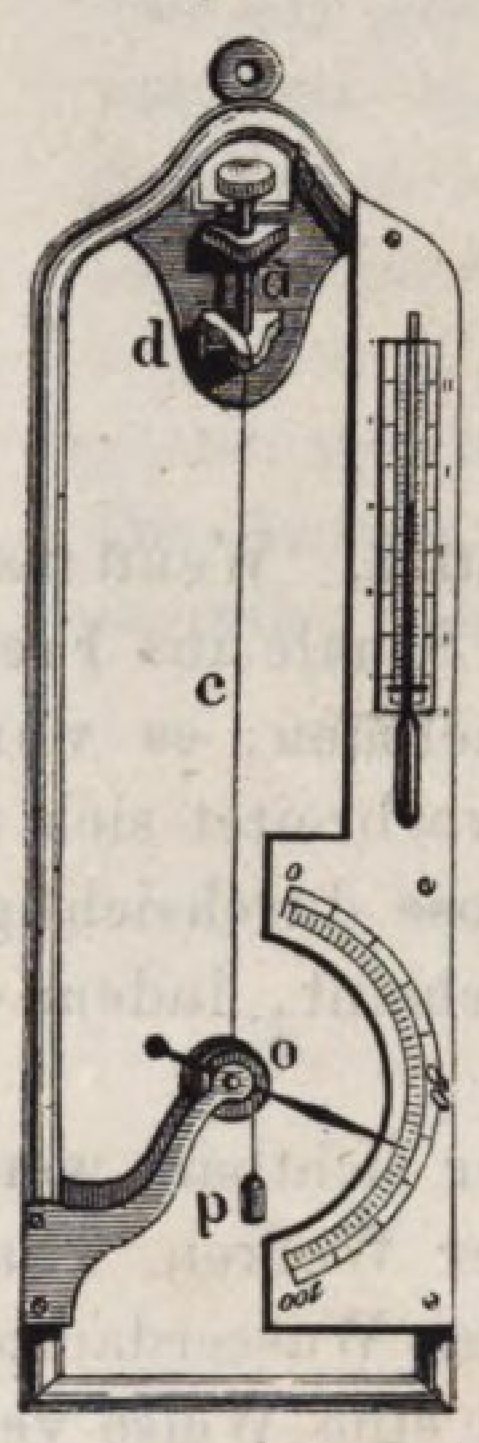
Die Bestimmungsweise des Wassergehaltes der Luft mit dem Aspirator, dem man verschiedene, bald mehr, bald weniger zweckmässige Formen gegeben hat, ist allerdings etwas umständlich und giebt auch nicht den Wassergehalt der Luft in einem bestimmten Momente, sondern

den mittleren Wassergehalt während der ganzen Dauer des Versuches; man hat deshalb kleinere, leichter transportable Apparate construirt, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt sind.

Es ist bekannt, dass viele organische Körper die Eigenschaft haben, Wasserdampf zu absorbiren und sich dabei verhältnissmässig zu verlängern. Unter anderen sind auch Haare, Fischbein u. s. w. solche hygroskopische Körper, und man benutzte sie deshalb zur Construction von Hygrometern. Das beste Instrument der Art ist das von Saussure angegebene Haarhygrometer, welches Fig. 319 abgebildet ist.

Das Haar *c* ist mit seinem oberen Ende im Zängelchen *a* befestigt, das andere Ende desselben aber ist um eine mit zwei Rinnen versehene Rolle geschlungen, während in der zweiten Rinne um die Rolle ein Seidenfaden geschlungen ist, der ein kleines Gewicht *p* trägt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird. An der Axe der Rolle ist ein Zeiger befestigt, welcher auf einem Gradbogen hin und her geht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.

Fig. 319.



Die Schraube am oberen Theile des Apparates dient, um die Spannung des Haares zu reguliren.

Wenn sich das Instrument in feuchter Luft befindet, so absorbirt das Haar viel Wasserdampf und wird dadurch länger, in trockner Luft aber verkürzt es sich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduirung des Instruments wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum durch Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. Die Stelle der Scala, auf welcher sich der Zeiger unter diesen Verhältnissen feststellt, ist der Punkt der grössten Trockenheit; er wird mit 0 bezeichnet.

Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit destillirtem Wasser befeuchtet sind, während auch auf dem Boden, auf welchem die Glocke steht, destillirtes Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er sich jetzt feststellt, ist der Punkt der grössten Feuchtigkeit; er wird mit 100 bezeichnet.

Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in 100 gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

Das auf diese Weise graduirte Hygrometer giebt zwar die äusserste Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft an, es zeigt, ob sich die Luft dem Sättigungspunkte mehr oder weniger nähert, man kann aber aus den Hygrometergraden keinen directen Schluss auf die Menge des Wasserdampfes in der Atmosphäre machen. Wie gross die jedem Hygrometergrade ent-

sprechende Spannkraft des Wasserdampfes in der Luft ist, kann nur auf empirischem Wege ermittelt werden.

Gay-Lussac verfuhr folgendermaassen: Er bestimmte zunächst das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes, welcher sich bei einer Temperatur von 10^0 über verschiedene Salzlösungen bilden kann. Alsdann brachte er sein Instrument bei derselben Temperatur der Reihe nach mit diesen Flüssigkeiten unter die Glocke und notirte jedesmal die Grade, bei welchen sich das Instrument einstellte. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

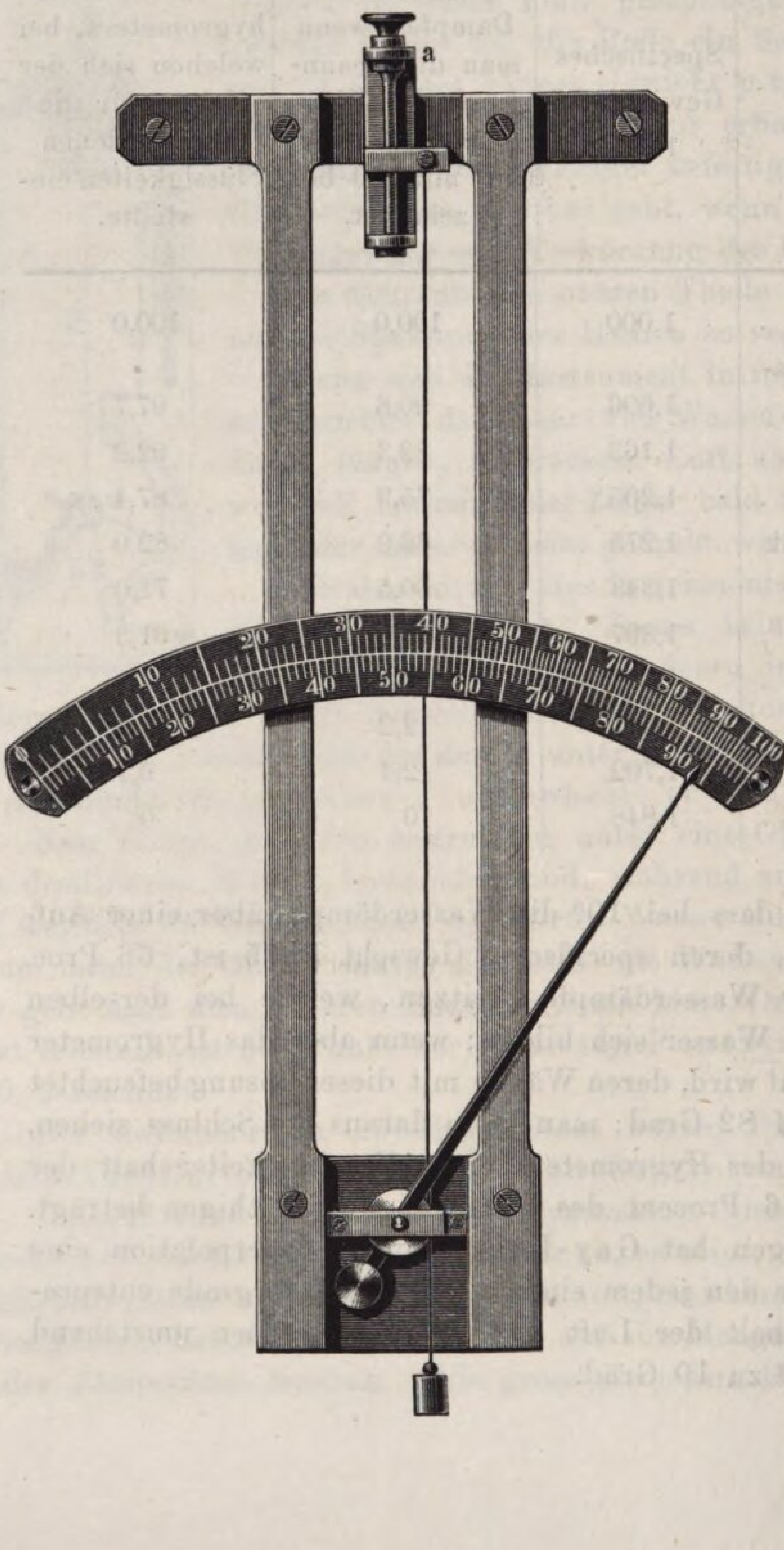
Namen der Flüssigkeit.	Specifisches Gewicht bei 10^0 C.	Spannkraft des Dampfes, wenn man die Spannkraft des Wasserdampfes bei 10^0 mit 100 bezeichnet.	Grade des Haarhygrometers, bei welchen sich der Zeiger für die verschiedenen Flüssigkeiten einstellte.
Wasser	1,000	100,0	100,0
Lösung von salzsaurem Natron	1,096	90,6	97,7
desgl.	1,163	82,3	92,2
desgl.	1,205	75,9	87,4
Lösung von salzsaurem Kalk	1,275	66,0	82,0
desgl.	1,343	50,5	71,0
desgl.	1,397	37,6	61,3
Schwefelsäure	1,493	18,1	33,1
desgl.	1,541	12,2	25,3
desgl.	1,702	2,4	6,1
desgl.	1,848	0	0

Er fand also z. B., dass bei 10^0 die Wasserdämpfe über einer Auflösung von Chlorcalcium, deren specifisches Gewicht 1,275 ist, 66 Proc. von der Spannkraft der Wasserdämpfe besitzen, welche bei derselben Temperatur über reinem Wasser sich bilden; wenn aber das Hygrometer unter eine Glocke gebracht wird, deren Wände mit dieser Lösung befeuchtet sind, so stellt es sich auf 82 Grad; man kann daraus den Schluss ziehen, dass der Theilstrich 82 des Hygrometers einen Feuchtigkeitsgehalt der Luft anzeigt, welcher 66 Procent des zur Sättigung nöthigen beträgt. Nach diesen Beobachtungen hat Gay-Lussac durch Interpolation eine Tabelle berechnet, welche den jedem einzelnen Hygrometergrade entsprechenden Feuchtigkeitsgehalt der Luft angiebt. Wir geben umstehend diese Tabelle nur von 10 zu 10 Grad.

Hygrometergrade.	Entsprechende Feuchtigkeit der Luft.	Hygrometergrade.	Entsprechende Feuchtigkeit der Luft.
0	0	60	36,28
10	4,57	70	47,19
20	9,45	80	61,22
30	14,78	90	79,09
40	20,78	100	100,00
50	27,79		

Wenn also das Hygrometer auf 60° steht, so enthält die Luft 36,28 Procent desjenigen Wasserdampfes, welchen sie enthalten müsste, um gesättigt zu sein.

Fig. 320.



Diese Tabelle ist jedoch nur für Temperaturen ganz zulässig, welche nicht viel von 10° verschieden sind.

Regnault hat gleichfalls Untersuchungen über das Haarhygrometer angestellt. Er fand es zweckmässiger, die Haare mit Aether zu entfetten, statt sie in einer Sodalösung zu kochen, wie es Saussure angegeben hatte.

Er fand, dass Hygrometer, mit einerlei Art von Haaren construirt, welche auf gleiche Weise entfettet wurden, zwar nicht streng übereinstimmend gehen, dass sie aber für die meisten Beobachtungen als vergleichbar betrachtet werden können; dass dagegen Hygrometer mit Haaren von ver-

schiedener Natur und verschiedener Zubereitung sehr grosse Unterschiede in ihren Angaben zeigen können, selbst wenn sie an den Endpunkten mit einander stimmen.

Daraus geht klar hervor, dass man nicht eine für alle Haarhygrometer gültige Tabelle berechnen könne, sondern dass man eigentlich für jedes Instrument der Art Versuche in obiger Weise anstellen und aus diesen eine Tabelle berechnen müsse.

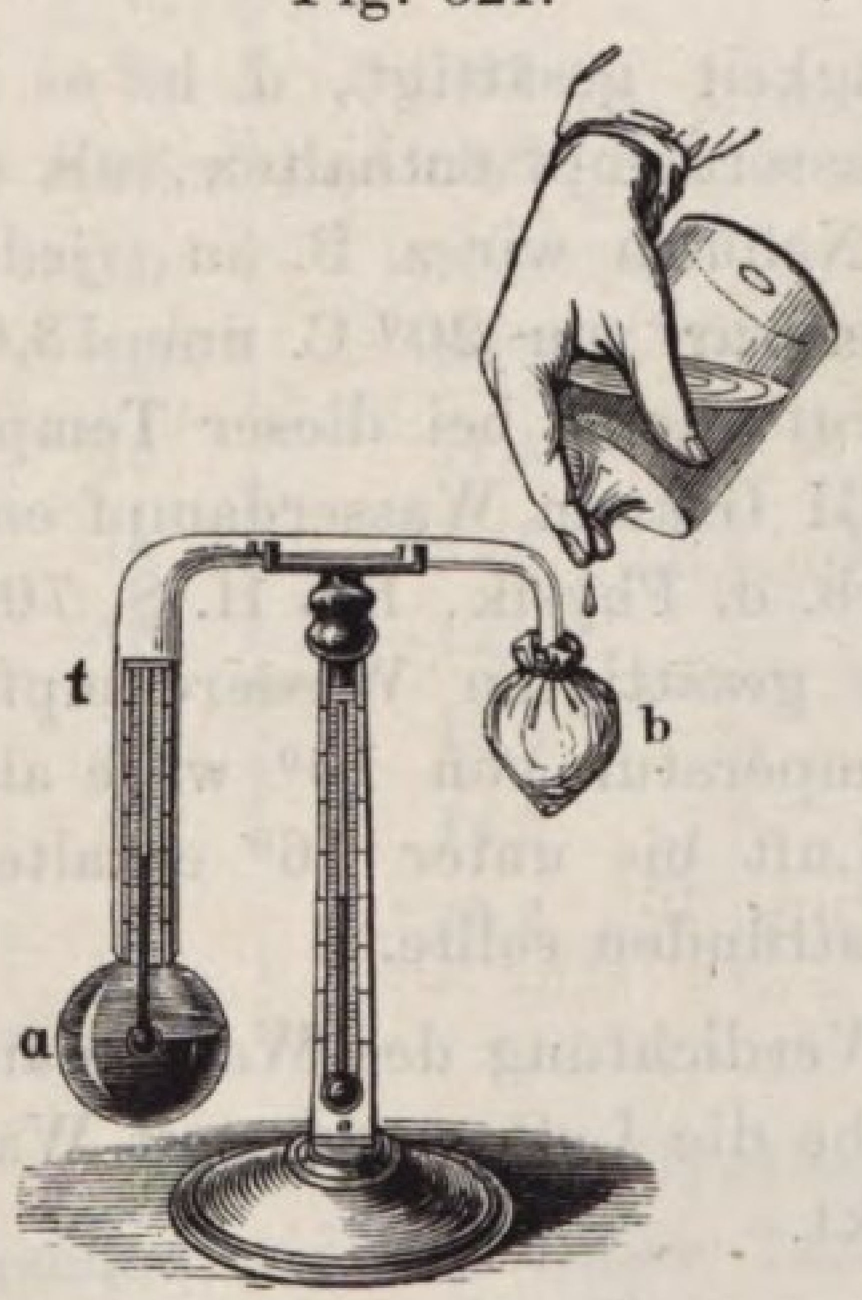
Fig. 320 stellt ein Haarhygrometer dar, wie dasselbe jetzt von Herrmann und Pfister in Bern in ausgezeichneter Weise verfertigt werden. Das Haar ist mit möglichster Sorgfalt von Fett befreit.

Das Instrument ist mit 2 Scalen versehen, deren obere die relative Feuchtigkeit direct in Procenten angiebt, während bei der unteren der Zwischenraum zwischen dem Punkt der absoluten Trockenheit und dem der grössten Feuchtigkeit in 100 gleiche Theile getheilt ist.

Das registrirende Hygrometer der Berner Sternwarte ist ein Herrmann-Pfister'sches Haarhygrometer, dessen Scala allmonatlich mit Hülfe des Psychrometers controlirt wird. Die Markirung des Hygrometerstandes geschieht von 10 zu 10 Minuten auf galvanischem Wege ganz auf dieselbe Weise, wie die Markirung des Thermometerstandes, welche auf S. 437 besprochen wurde.

Daniel's Hygrometer ist Fig. 321 dargestellt; es besteht aus einer gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, 225

Fig. 321.



ist entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinschicht überzogen, die andere ist mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Thermometer, dessen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel *b* tröpfelt, so wird sie durch die Verdampfung desselben erkaltet, in ihrem Inneren werden Aetherdämpfe condensirt und dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewissermaassen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* überdestillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden und sie beschlägt sich endlich mit einem zarten Thau.

Die Entstehung dieses Thaues lässt sich leicht erklären. Die Physik lehrt, dass im leeren Raume die Spannkraft des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur eine gewisse Gränze nicht übersteigen kann,

dass aber das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur steigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. ist das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 17,4 Millimeter (Lehrb. d. Physik, 7. Aufl. Bd. II. S. 706), und die entsprechende Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,00001731; in einem luftleeren Raume von 1 Cubikmeter können also bei einer Temperatur von 20° höchstens 17,31 Gramm Wasser in Form von Dampf enthalten sein.

Wir wissen aber ferner, dass in einem lufterfüllten Raume gerade ebensoviel Wasserdampf enthalten sein kann als in einem gleich grossen luftleeren Raume, und dass sich in diesem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Wasserdampfes summiren. Bei einer Temperatur von 20° können also in einem Cubikmeter Luft ebenfalls 17,31 Gramm Wasser als Dampf enthalten sein.

Man sagt, die Luft sei mit Wasserdampf **gesättigt**, wenn der in ihr verbreitete Wasserdampf das ihrer Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Feuchtigkeit gesättigte Luft einen kälteren Körper, so wird dieser die nächsten Luftschichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes wird sich verdichten müssen und setzt sich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf diese Weise bildet sich der Beschlag an den Fensterscheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äusseren Luft niedrig genug ist, um die Fensterscheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, d. h. es ist nicht immer in derselben gerade soviel Wasserdampf enthalten, als sie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Cubikmeter Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° C. nur 13,63 Gramm Wasserdampf, so ist sie nicht gesättigt; denn bei dieser Temperatur könnte ja jedes Cubikmeter Luft 17,31 Gramm Wasserdampf enthalten. Aus der angeführten Tabelle (Lehrb. d. Physik, Bd. II. S. 706) ersieht man aber, dass die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes bei 16° gleich 0,00001363 ist; für eine Temperatur von 16° wäre also die Luft gesättigt. Man müsste also die Luft bis unter 16° erkalten, wenn eine Verdichtung von Wasserdampf stattfinden sollte.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Wasserdampfes beginnt, die Temperatur also, für welche die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist, heisst der **Thaupunkt**.

Der Thaupunkt ist es nun, welchen man am **Daniel**'schen Hygrometer beobachtet; sobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet ist, fängt diese Kugel an sich zu beschlagen; die Temperatur des Thaupunktes liest man unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Die folgende Tabelle giebt den Wassergehalt der mit Dampf gesättigten Luft für den Thaupunkt von — 20⁰ bis + 40⁰ Celsius an.

Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Cubikmeter Luft.	Temperatur des Thaupunktes.	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes.	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Cubikmeter Luft.
	mm	gr		mm	gr
— 20⁰	1,3	1,5	19⁰	16,3	16,2
— 15	1,9	2,1	20	17,4	17,3
— 10	2,6	2,9	21	18,3	18,1
— 5	3,7	4,0	22	19,4	19,1
0	5,0	5,4	23	20,6	20,2
1	5,4	5,7	24	21,8	21,3
2	5,7	6,1	25	23,1	22,5
3	6,1	6,5	26	24,4	23,8
4	6,5	6,9	27	25,9	25,1
5	6,9	7,3	28	27,4	26,4
6	7,4	7,7	29	29,0	27,9
7	7,9	8,2	30	30,6	29,4
8	8,4	8,7	31	32,4	31,0
9	8,9	9,2	32	34,3	32,6
10	9,5	9,7	33	36,2	34,3
11	10,1	10,3	34	38,3	36,2
12	10,7	10,9	35	40,4	38,1
13	11,4	11,6	36	42,7	40,2
14	12,1	12,2	37	45,0	42,2
15	12,8	13,0	38	47,6	44,4
16	13,6	13,7	39	50,1	46,7
17	14,5	14,5	40	53,0	49,2
18	15,4	15,3			

Wenn uns das Hygrometer für den Thaupunkt 12⁰ C. angiebt, so ersehen wir aus dieser Tabelle, dass jedes Cubikmeter Luft 10,9 Gramm Wasserdampf enthält; wäre der Thaupunkt 17⁰ C., so enthielte jedes Cubikmeter 14,5 Gramm Wasserdampf u. s. w.

Zur Bequemlichkeit für die Berechner der auf meteorologischen Stationen gemachten Beobachtungen hat man solche Tabellen berechnet, welche die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes für alle Tempera-

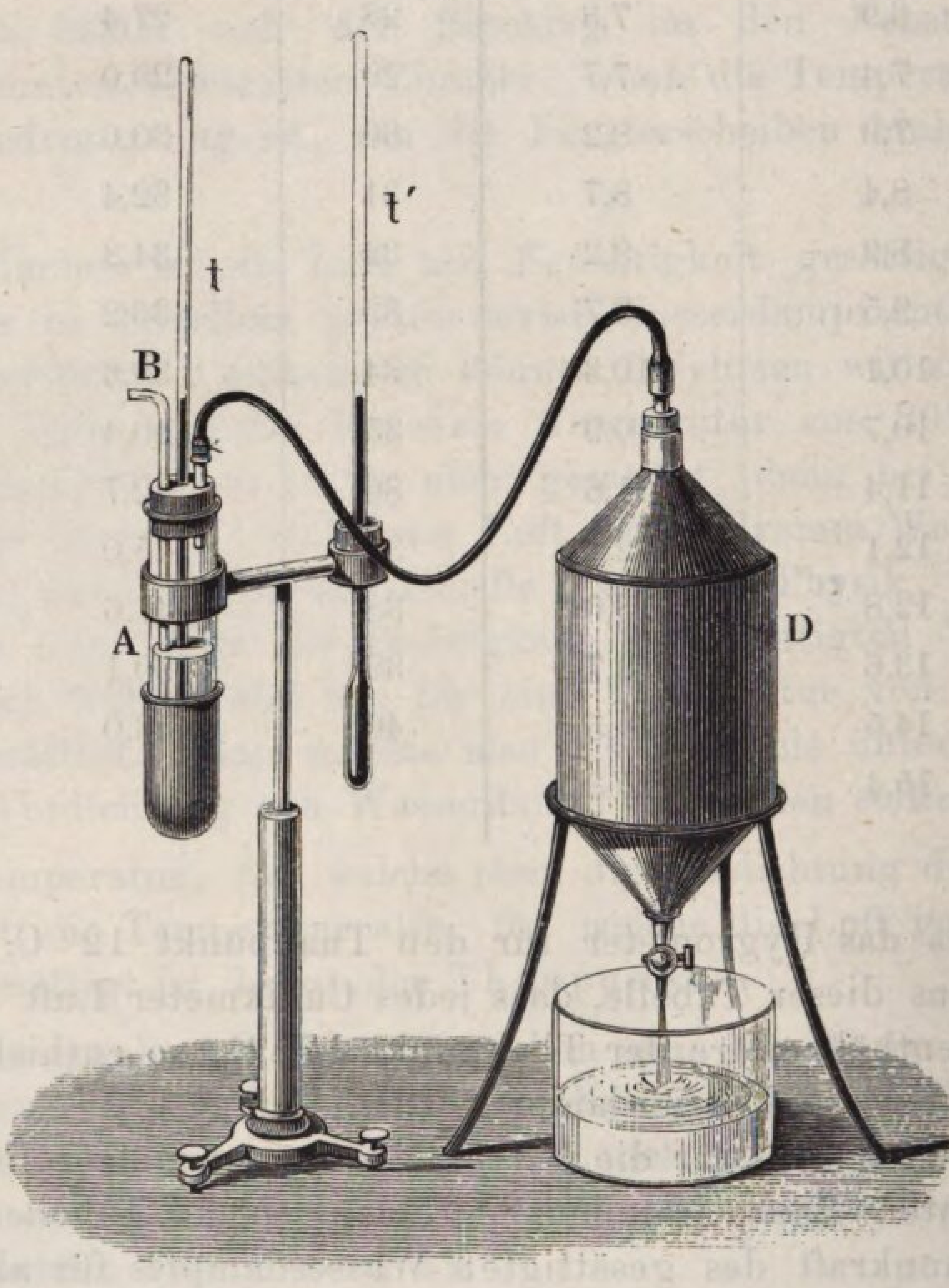
turen von — 24 bis + 35° C. jeweils um 0,1 Grad fortschreitend angeben.

Gegen die Genauigkeit der Angaben des Daniel'schen Hygrometers lassen sich mit Recht folgende Einwendungen machen: Der Aether in der Kugel *a* ist an der Oberfläche kälter als an den tieferen Stellen; die Handhabung des Apparats erfordert eine längere Anwesenheit des Beobachters in der Nähe desselben, wodurch sowohl die Temperatur als auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft modificirt wird; die Menge des Aethers, welcher auf der Kugel *b* verdampft, äussert ebenfalls einen Einfluss auf den hygrometrischen Zustand der Luft, welcher noch dadurch verschlimmert wird, dass der käufliche Aether nie ganz wasserfrei ist.

Schon lange hat Döbereiner auf die Schwierigkeit aufmerksam gemacht, mit dem Daniel'schen Hygrometer genaue Resultate zu erhalten; er construirte ein anderes, auf demselben Principe beruhendes Instrument, welches jedoch nicht so beachtet worden zu sein scheint, wie es verdient.

Später hat Regnault ein Instrument angegeben, welches als eine Vervollkommnung des eben erwähnten Döbereiner'schen angesehen werden kann. Am unteren Ende der Glasröhre *A*, Fig. 322, ist ein fingerhutartiges Gefäss von dünnem polirtem Silberblech befestigt, welches ungefähr

Fig. 322.



20^{mm} Durchmesser hat und 45^{mm} hoch ist. Oben ist die Glasröhre A mit einem Kork verschlossen, welcher drei Löcher hat. Durch das eine derselben geht die Röhre B hindurch, welche fast bis auf den Boden des Silbergefässes reicht; durch die zweite Oeffnung geht die Röhre eines Thermometers, dessen Gefäss sich ungefähr in der Mitte des Silbergefässes befindet. Ein kurzes Glasröhrchen, welches nur eben bis unter den Kork reicht, steckt in der dritten Oeffnung. Von diesem Röhrchen führt ein Gummischlauch zu dem mit Wasser gefüllten Aspirator D.

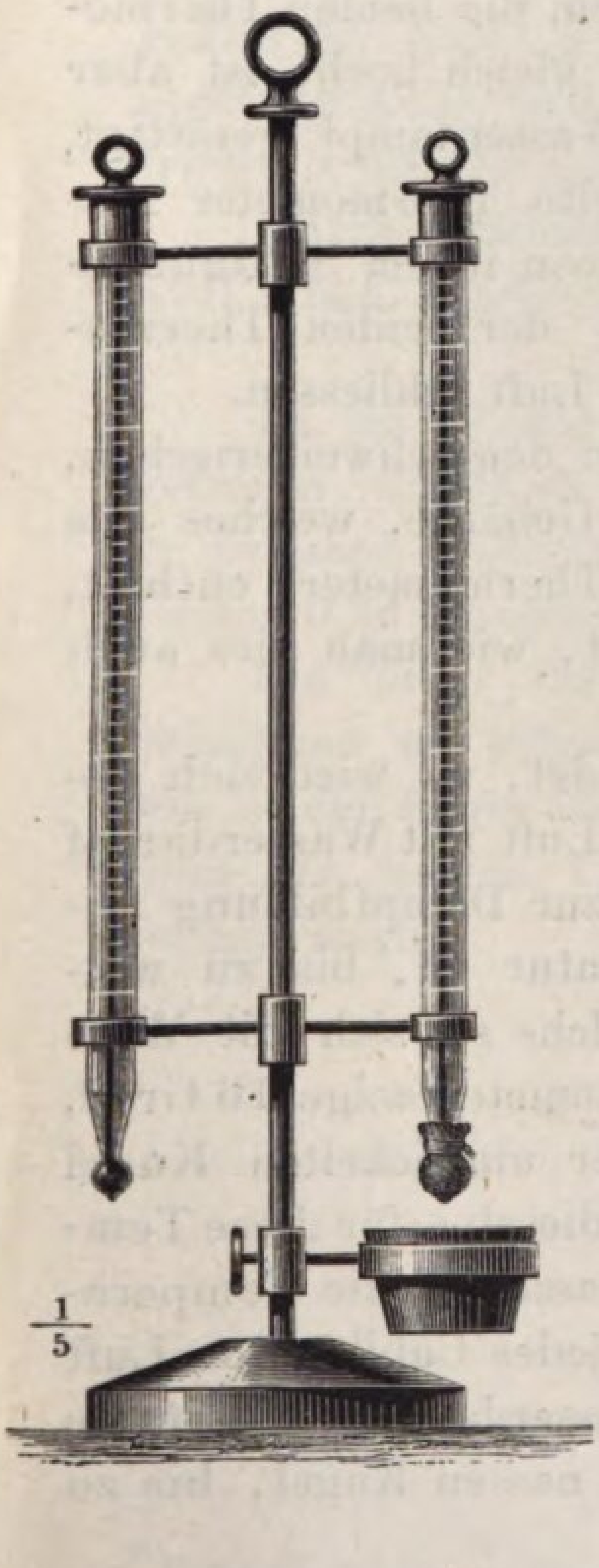
Das silberne Gefäss und die Glasröhre sind ungefähr so weit mit Aether gefüllt, wie die Figur zeigt. Wird nun der Hahn des Aspirators geöffnet, so fliesst hier das Wasser aus, in gleichem Maasse aber muss Luft durch das Rohr B einströmen, welche durch den Aether in A in Form von Bläschen aufsteigt, und dadurch eine rasche Verdunstung desselben bewirkt, in Folge deren das Silbergefäss von aussen beschlägt.

Die Temperatur des Thaupunktes wird am Thermometer t, die der umgebenden Luft am Thermometer t' abgelesen.

Der Beobachter steht am Aspirator D und beobachtet das Silbergefäss und die Thermometer durch ein Fernrohr.

Wenn das Silbergefäss die Temperatur des Thaupunktes erreicht hat, so reicht die geringste Verzögerung des Wasserausflusses hin, um den Beschlag verschwinden zu machen, während eine Beschleunigung des Ausflusses ihn vermehrt.

Fig. 323.



Das Döbereiner'sche Instrument unterscheidet sich von dem Regnault'schen im Wesentlichen nur dadurch, dass bei ersterem die Luft mittelst einer Druckpumpe durch den Aether des Silbergefässes hindurch getrieben wird.

August's Psychrometer ist Fig. 323 dargestellt; es besteht aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen (in unserer Figur die des Thermometers links) ist vollkommen frei, so dass dieses Thermometer die Temperatur der Luft angiebt. Die Kugel des zweiten Thermometers ist mit einem Leinwandläppchen umwickelt, welches mit Wasser befeuchtet sein muss. Die Befeuchtung geschieht entweder, wie dies z. B. auf den badischen meteorologischen Stationen der Fall ist, dadurch, dass man $^1/_4$ Stunde vor der Beobachtung ein Gefäss voll Wasser von unten her über die Kugel schiebt und dann nach Entfernung des Gefässes den noch an der Kugel hängenden Tropfen wegnimmt, oder es hängt das die Kugel umgebende Läppchen bis in ein unter- 226

gestelltes Glasgefäss hinab, wie dies Fig. 324 erläutert, so dass die Leinwand, welche die Kugel umgiebt, durch Haarröhrchenwirkung beständig

Fig. 325.

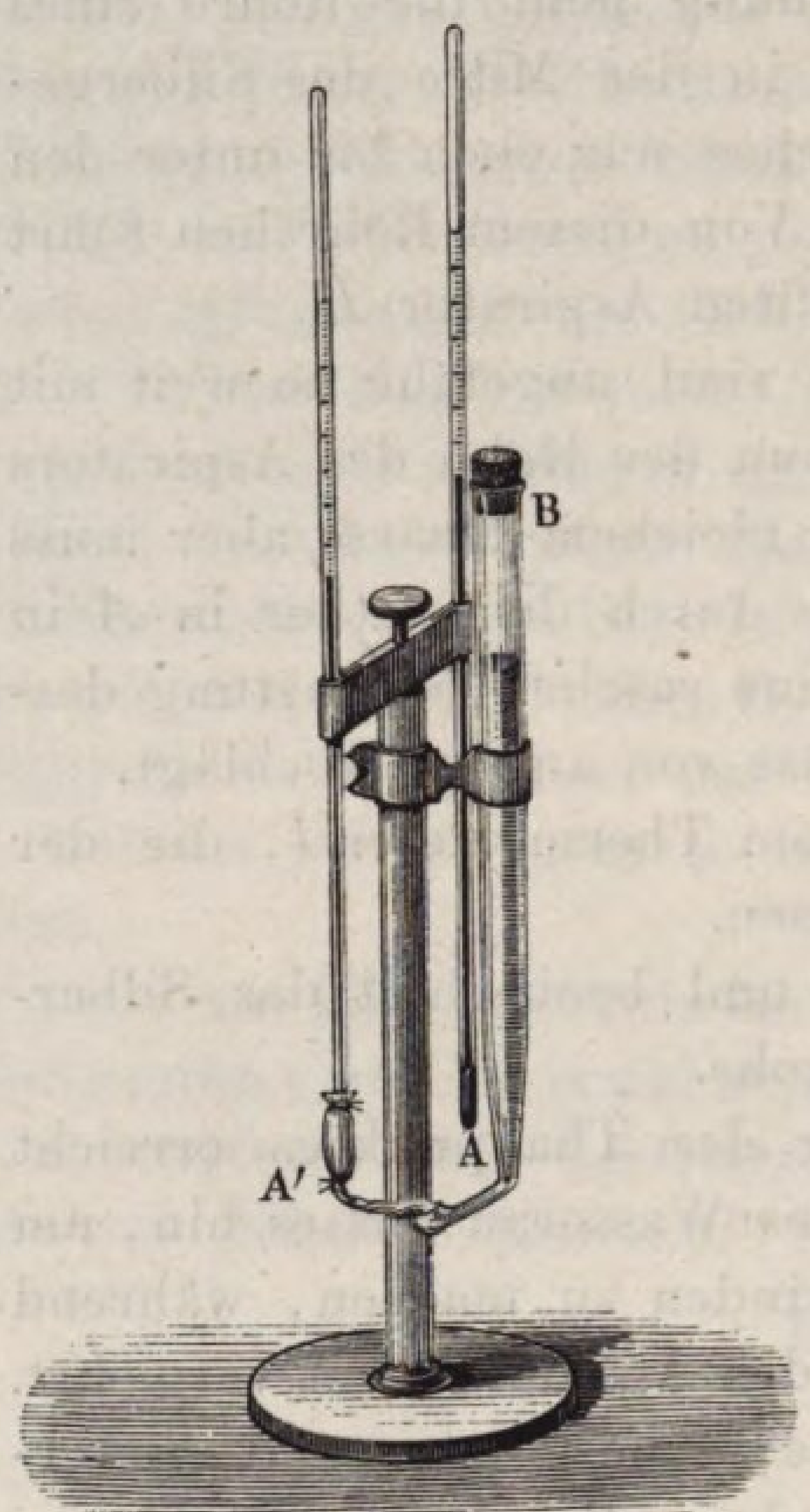
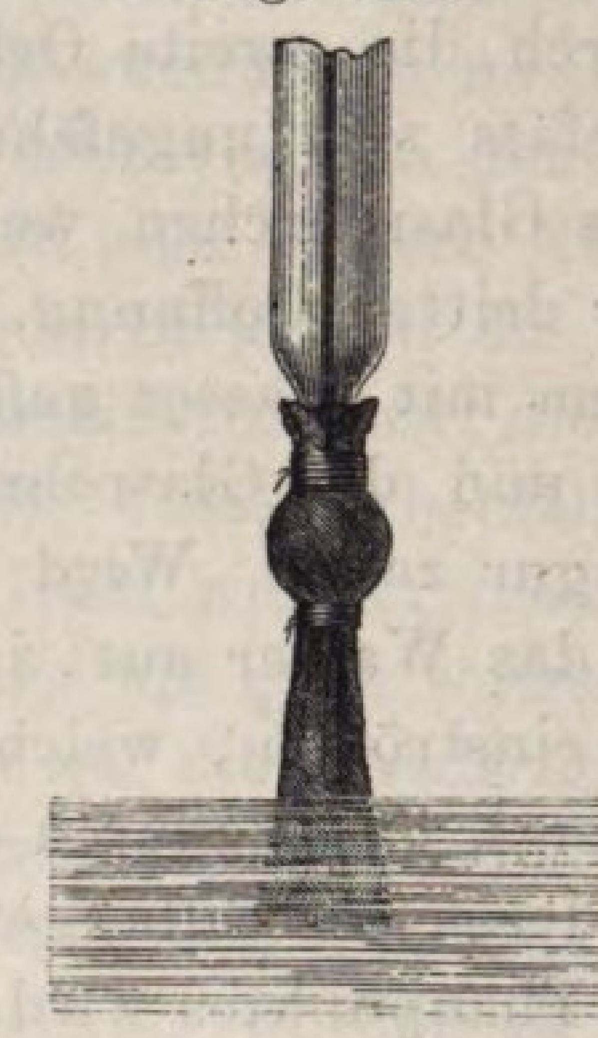


Fig. 324.



feucht erhalten wird. Fig. 325 zeigt eine andere Form des Psychrometers, welche wohl ohne weitere Erläuterung verständlich ist.

Das Wasser in der Kugelhülle wird nun verdunsten, und zwar um so rascher, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer tiefer steht als das trockene. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, wie dies bei starkem Nebel der Fall ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden Thermometer stehen alsdann gleich hoch; ist aber die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt, so wird das umwickelte Thermometer sinken, und zwar um so tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schliessen.

Behufs der Psychrometerbeobachtungen ist auf den schweizerischen, badischen und russischen Stationen in demselben Gehäuse, welches das zur Beobachtung der Lufttemperatur dienende Thermometer enthält, noch ein zweites mit umwickelter Kugel angebracht, wie man dies auch in Fig. 251, Seite 429, sieht.

Wenn ein hinreichend starker Luftzug stattfindet, so wird sich die an der nassen Thermometerkugel vorbeistreichende Luft mit Wasserdampf sättigen, sie wird aber einen Theil ihrer Wärme zur Dampfbildung abgeben; das nasse Thermometer zeigt die Temperatur an, bis zu welcher die Luft an dieser Kugel erkaltet und für welche sie sich mit Wasserdampf sättigt. Nehmen wir an, das nasse Thermometer zeige 16 Grad, so sehen wir daraus, dass die Luft, welche an der umwickelten Kugel vorbeistreicht, auf 16^0 erkaltet wird, und dass sie dieselbe für diese Temperatur gesättigt verlässt. Wäre die ganze Luftmasse für die Temperatur von 16^0 mit Wasserdampf gesättigt, so würde jedes Cubikmeter Luft 13,7 Gramm Wasserdampf enthalten; so viel Wasserdampf enthält sie aber in der That nicht, denn sie nimmt ja an der nassen Kugel, bis zu

16^0 erkaltend, noch Wasserdampf auf; der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre ist also von der Art, dass jedes Cubikmeter Luft weniger als 13,7 Gramm Wasserdampf enthält.

Die Menge des Wasserdampfes, welche die Luft aufnimmt, indem sie an der nassen Kugel vorbeistreicht, ist der ihr entzogenen Wärmemenge, also auch der Temperaturdifferenz d des trockenen und des feuchten Thermometers proportional. Wir können also die Quantität des Wasserdampfes, welchen ein Cubikmeter der nach und nach an der nassen Kugel vorbeistreichenden Luft aufnimmt, mit cd bezeichnen.

Bezeichnen wir ferner mit M das Maximum des Wasserdampfes, welchen ein Cubikmeter Luft bei der Temperatur des nassen Thermometers enthalten kann, die Quantität des Wasserdampfes also, welchen die Luft wirklich enthält, welche am nassen Thermometer vorbeigestrichen ist, so besteht diese Quantität M aus zwei Theilen, der Quantität cd nämlich, welche sie an der Kugel aufgenommen hat, und der Quantität m, welche sie schon enthielt; es ist also:

$$M = m + cd$$

oder:

$$m = M - cd \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

In dieser Formel bezeichnet, wie erwähnt, m den Wassergehalt der Luft, d die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer, M den Wasgehalt der Luft, wenn sie für die Temperatur des nassen Thermometers gesättigt wäre, und c einen constanten Factor, welcher durch Versuche ermittelt werden muss.

Durch vergleichende Versuche mit dem Psychrometer und dem Daniel'schen Hygrometer ergab sich:

$$c = 0{,}65.$$

Ist im Winter das Wasser an der überzogenen Thermometerkugel gefroren, so ist dieser Zustand zu belassen. Bei der Berechnung von m ist aber alsdann in Gleichung 1) für c statt des Factors 0,65 der Factor 0,56 zu setzen.

Um nicht für jede Beobachtung erst den Wassergehalt der Luft berechnen zu müssen, hat man Tabellen berechnet, in welchen man, wie in der folgenden, für jede Lufttemperatur und jede beobachtete Differenz der beiden Thermometer den Wassergehalt der Luft gleich aufsuchen kann.

Temperatur der Luft in Graden nach Celsius.	Differenz des trocknen und befeuchteten Thermometers.												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
— 20	1,5	0,8	0,1										
— 19	1,6	0,9	0,2										
— 18	1,8	1,0	0,3										
— 17	1,9	1,1	0,4										
— 16	2,0	1,2	0,5										
— 15	2,1	1,4	0,6										
— 14	2,3	1,5	0,8										
— 13	2,4	1,6	0,9	0,1									
— 12	2,6	1,8	1,0	0,3									
— 11	2,7	2,0	1,2	0,4									
— 10	2,9	2,1	1,3	0,6									
— 9	3,1	2,3	1,5	0,7									
— 8	3,3	2,5	1,7	0,9	0,1								
— 7	3,5	2,7	1,9	1,1	0,3								
— 6	3,7	2,9	2,1	1,3	0,5								
— 5	4,0	3,1	2,3	1,5	0,7								
— 4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,9	0,1							
— 3	4,5	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3							
— 2	4,8	3,9	3,0	2,2	1,4	0,5							
— 1	5,1	4,2	3,3	2,4	1,6	0,8							
0	5,4	4,5	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2						
+ 1	5,7	4,7	3,8	2,9	2,1	1,2	0,4						
+ 2	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0,5						
+ 3	6,5	5,4	4,4	3,4	2,5	1,6	0,7						
+ 4	6,9	5,8	4,8	3,7	2,7	1,8	1,0						
+ 5	7,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	1,2	0,3					
+ 6	7,7	6,6	5,5	4,5	3,4	2,4	1,4	0,5					
+ 7	8,2	7,0	5,9	4,9	3,8	2,8	1,8	0,8					
+ 8	8,7	7,5	6,4	5,3	4,2	3,2	2,1	1,1	0,2				
+ 9	9,2	8,0	6,9	5,7	4,6	3,6	2,5	1,5	0,5				
+ 10	9,7	8,5	7,3	6,2	5,1	4,0	2,9	1,9	0,9				
+ 11	10,3	9,1	7,9	6,7	5,6	4,4	3,3	2,3	1,2	0,2			
+ 12	10,9	9,7	8,4	7,2	6,0	4,9	3,8	2,7	1,7	0,6			
+ 13	11,6	10,3	9,0	7,8	6,6	5,4	4,3	3,1	2,1	1,0			
+ 14	12,2	10,9	9,6	8,3	7,1	5,9	4,8	3,6	2,5	1,4	0,4		
+ 15	13,0	11,6	10,3	9,0	7,7	6,5	5,3	4,1	3,0	1,9	0,8		
+ 16	13,7	12,3	10,9	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,5	2,4	1,3	0,2	
+ 17	14,5	13,1	11,6	10,3	9,0	7,7	6,4	5,2	4,0	2,9	1,7	0,7	
+ 18	15,3	13,8	12,4	11,0	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,4	2,2	1,1	
+ 19	16,2	14,7	13,2	11,7	10,3	9,0	7,7	6,4	5,1	3,9	2,8	1,6	
+ 20	17,1	15,5	14,0	12,5	11,1	9,7	8,3	7,0	5,8	4,5	3,3	2,2	
+ 21	18,1	16,5	14,9	13,4	11,9	10,5	9,1	7,7	6,4	5,1	3,9	2,7	
+ 22	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8	8,4	7,1	5,8	4,5	3,3	
+ 23	20,2	18,5	16,8	15,2	13,6	12,1	10,6	9,2	7,8	6,4	5,2	3,9	2,5
+ 24	21,3	19,5	17,8	16,1	14,5	12,9	11,4	10,0	8,5	7,2	5,8	4,5	3,1
+ 25	22,5	20,6	18,9	17,1	15,5	13,8	12,3	10,8	9,3	7,9	6,5	5,2	3,9
+ 26	23,8	21,8	20,0	18,2	16,5	14,8	13,2	11,6	10,1	8,7	7,3	5,9	4,6
+ 27	25,1	23,1	21,2	19,3	17,5	15,8	14,2	12,6	11,0	9,5	8,1	6,7	5,3
+ 28	26,4	24,4	22,4	20,5	18,7	16,9	15,2	13,5	11,9	10,4	8,9	7,5	6,1
+ 29	27,9	25,8	23,7	21,7	19,8	18,0	16,3	14,6	12,9	11,3	9,8	8,3	6,8
+ 30	29,4	27,2	25,1	23,0	21,1	19,2	17,4	15,6	13,9	12,3	10,7	9,1	7,7
+ 31	31,0	28,7	26,5	24,4	22,4	20,4	18,5	16,7	15,0	13,3	11,6	10,1	8,5
+ 32	32,6	30,3	28,0	25,8	23,8	21,7	19,8	17,9	16,1	14,3	12,7	11,0	9,4
+ 33	34,4	31,9	29,6	27,3	25,2	23,1	21,1	19,1	17 3	15,4	13,7	12,0	10,4
+ 34	36,2	33,7	31,2	28,9	26,7	24,5	22,4	20,4	18,5	16,6	14,8	13,1	11,4
+ 35	38,1	35,5	33,0	30,6	28,2	26,0	23,8	21,8	19,8	17,8	16,0	14,2	12,5

Man findet in dieser Tabelle den Wassergehalt eines Cubikmeters Luft, in Grammen ausgedrückt, für die jedesmalige Lufttemperatur und die gleichzeitig beobachtete Differenz der beiden Thermometer, wenn man in der Horizontalreihe, deren äusserste Ziffer links die Lufttemperatur angiebt, bis zu der Verticalreihe herübergeht, welche mit der beobachteten Differenz der beiden Thermometer überschrieben ist. So findet man z. B. für die Lufttemperatur von 20^0, wenn das nasse Thermometer auf 16^0 steht, wenn also die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer 4^0 ist, den Wassergehalt der Luft gleich 11,1, d. h. in diesem Falle enthält jedes Cubikmeter Luft 11,1 Gramm Wasserdampf.

Den Instructionen für die meteorologischen Stationen der Schweiz, Russlands und anderer Länder sind ähnliche psychrometrische Tafeln von viel grösserem Umfang beigegeben, in welchen die Temperaturen des trocknen Thermometers sowie die Temperaturdifferenzen oder die Temperaturen des feuchten Thermometers nicht von Grad zu Grad, sondern von zehntel zu zehntel Grad fortschreiten, welche also (weil auf weitere Temperaturgränzen berechnet) eine mehr als 100mal grössere Ausdehnung haben, als die Tabelle auf Seite 642.

Kennt man den absoluten Wassergehalt der Luft, so erhält man die relative Feuchtigkeit derselben, wenn man den absoluten Wassergehalt durch das Maximum des Wasserdampfes dividirt, welches die Luft bei der Temperatur des trocknen Thermometers aufnehmen kann.

Die grösseren psychrometrischen Tafeln enthalten nicht allein den absoluten, sondern auch den relativen Wassergehalt der Luft, welcher den Psychrometerablesungen entspricht.

Die aus den Psychrometer-Beobachtungen abgeleiteten Werthe des Wassergehaltes der Luft sind jedoch nur dann der Wahrheit entsprechend, wenn am Instrumente ein genügender Luftwechsel stattfindet, wenn dasselbe also nicht von einer stagnirenden Luftmasse umgeben ist.

Tägliche Variationen im Wassergehalte der Luft. Da 227
bei hoher Temperatur mehr Wasserdampf in der Luft verbreitet sein kann, da mit steigender Wärme das Wasser an der Oberfläche der Gewässer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunstet, so lässt sich wohl erwarten, dass der Wassergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird. Die Gesetze der täglichen Variationen des Wassergehaltes der Atmosphäre sind besonders durch lange Versuchsreihen von Neuber in Apenrade, von Kupffer in Petersburg und von Kämtz in Halle und auf den Alpen ermittelt worden.

Die folgende Tabelle giebt für Halle die mittlere Spannkraft für die einzelnen Tagesstunden in den Monaten Januar, April, Juli und October in Millimetern an.

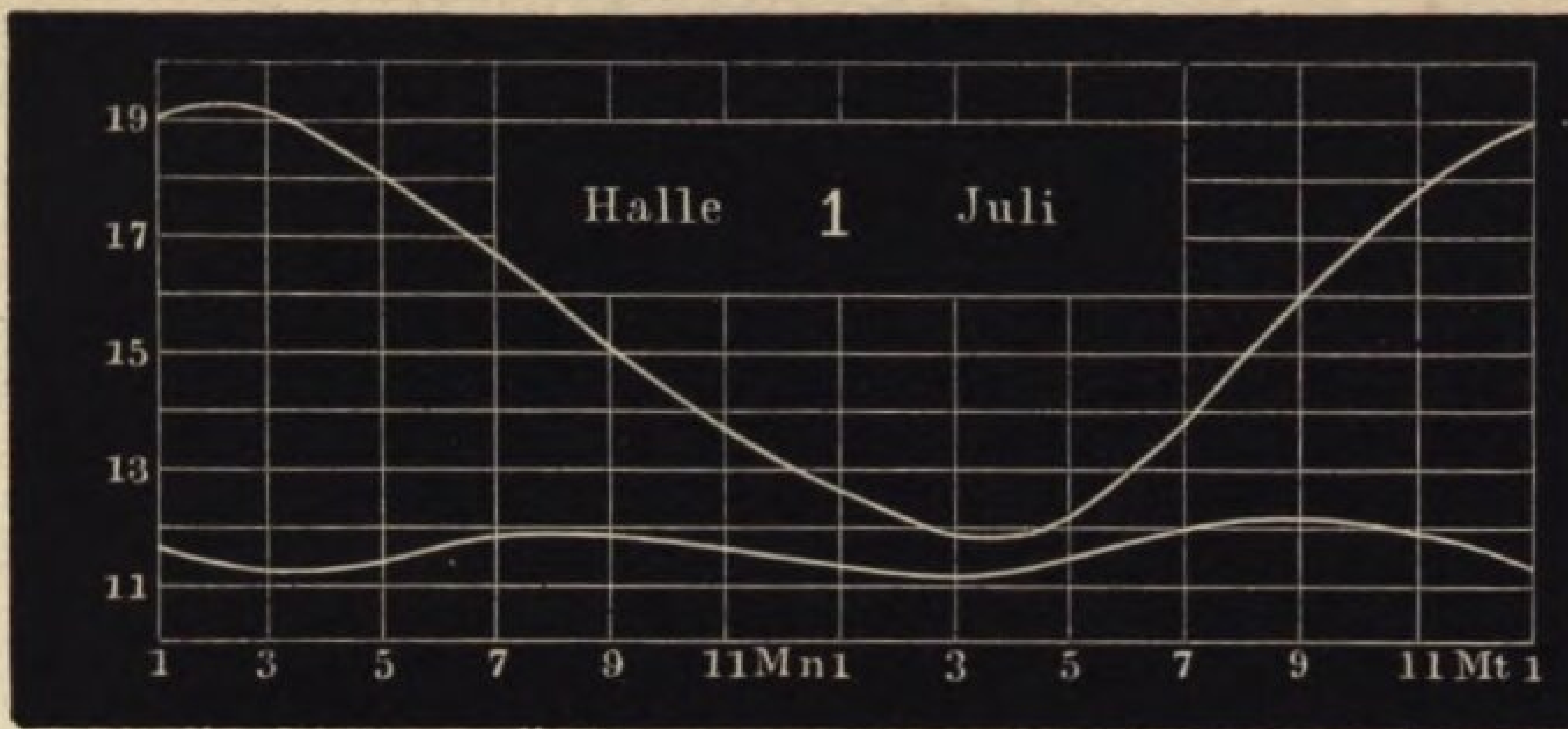
Stunden.	Januar.	April.	Juli.	October.
Mittag	4,29mm	6,15mm	11,62mm	8,27mm
1	4,32	6,05	11,42	8,29
2	4,34	6,08	11,32	8,23
3	4,33	6,09	11,22	8,15
4	4,28	6,09	11,18	8,10
5	4,25	6,09	11,25	8,06
6	4,24	6,12	11,36	8,10
7	4,22	6,15	11,68	8,07
8	4,20	6,13	11,76	7,96
9	4,18	6,10	11,75	7,88
10	4,15	6,05	11,67	7,80
11	4,14	6,03	11,52	7,72
Mitternacht	4,11	6,02	11,33	7,66
1	4,09	5,99	11,15	7,59
2	4,09	5,93	11,05	7,52
3	4,08	5,88	11,07	7,43
4	4,08	5,84	11,21	7,36
5	4,07	5,87	11,44	7,34
6	4,06	5,96	11,68	7,44
7	4,06	6,08	11,96	7,49
8	4,05	6,25	12,11	7,75
9	4,07	6,34	12,05	8,06
10	4,12	6,35	11,89	8,23
11	4,21	6,28	11,72	8,28
Mittel	4,17	6,08	11,52	7,87

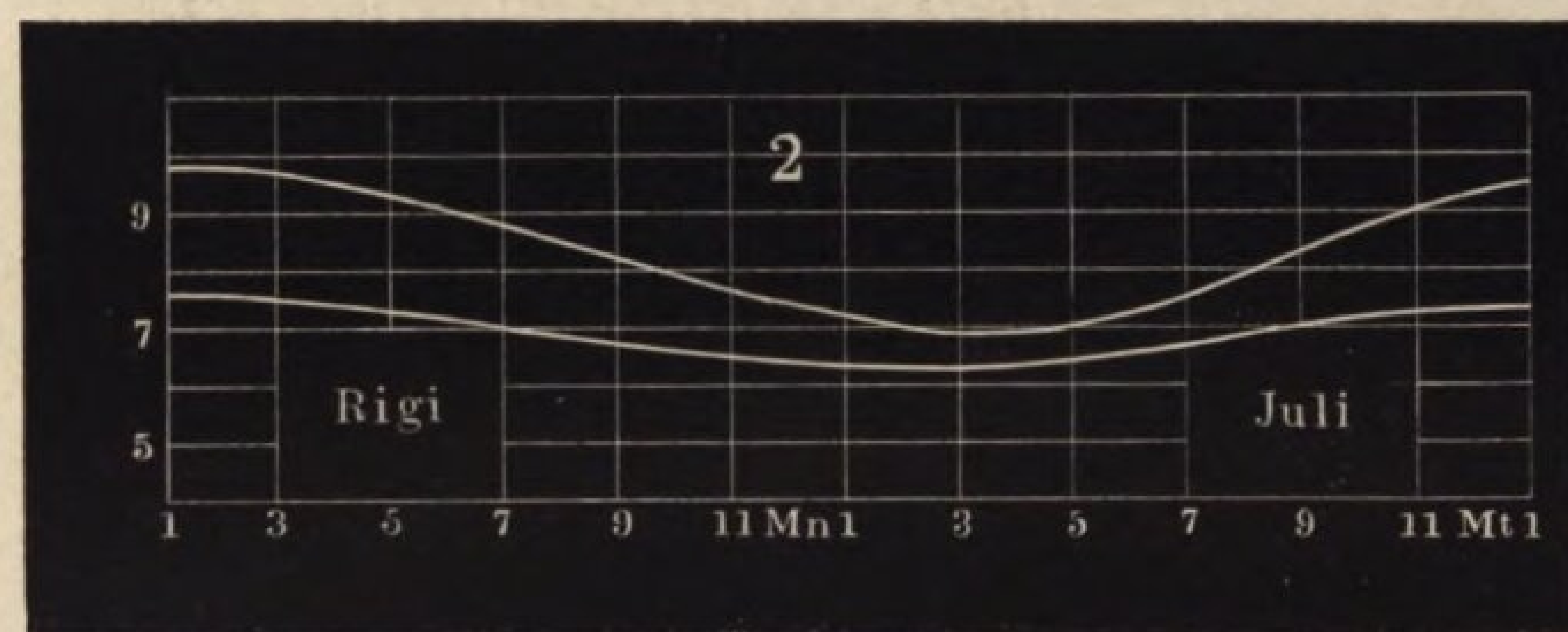
Nach dieser Tabelle sind die Variationen des Wassergehaltes der Luft während eines Tages für den Monat Juli in Figur 1, Tabelle 21, graphisch, und zwar in der unteren Curve, dargestellt. Die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten der Spannkraft des Wasserdampfes proportional aufgetragen, und zwar so, dass einer Spannkraftsdifferenz von 1mm eine Höhendifferenz von 3 Millimetern entspricht. Man sieht, dass der Wassergehalt der Luft zwei Maxima hat, eines gegen 9 Uhr Abends und ein zweites gegen 9 Uhr Morgens. Ferner zeigt der Wassergehalt der Luft zwei Minima, eines um 4 Uhr Nachmittags und eines kurz vor Sonnenaufgang.

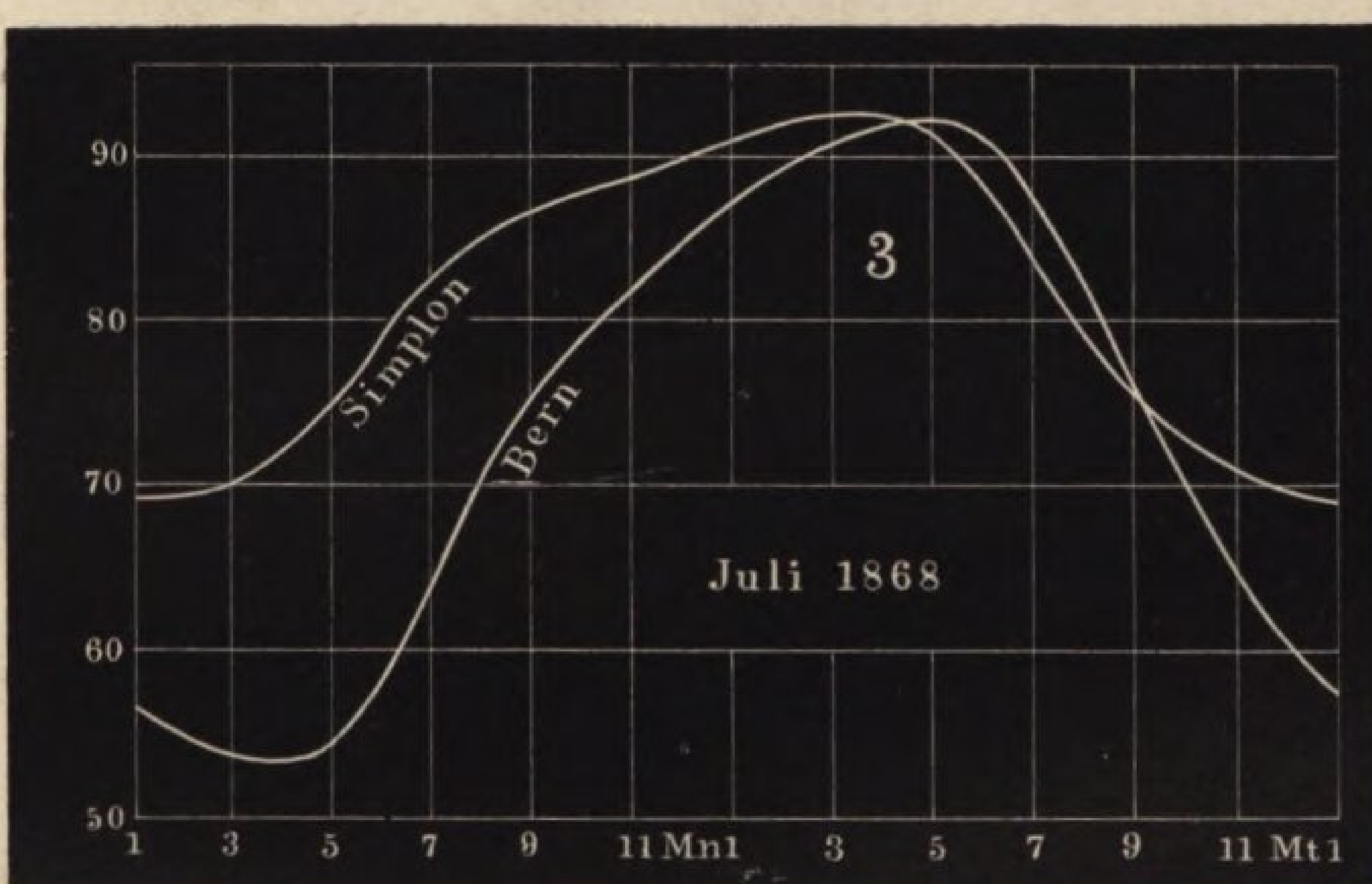
Wenn mit Sonnenaufgang die Temperatur steigt, vermehrt sich auch die Menge des Wasserdampfes in der Luft, jedoch dauert dies nur bis

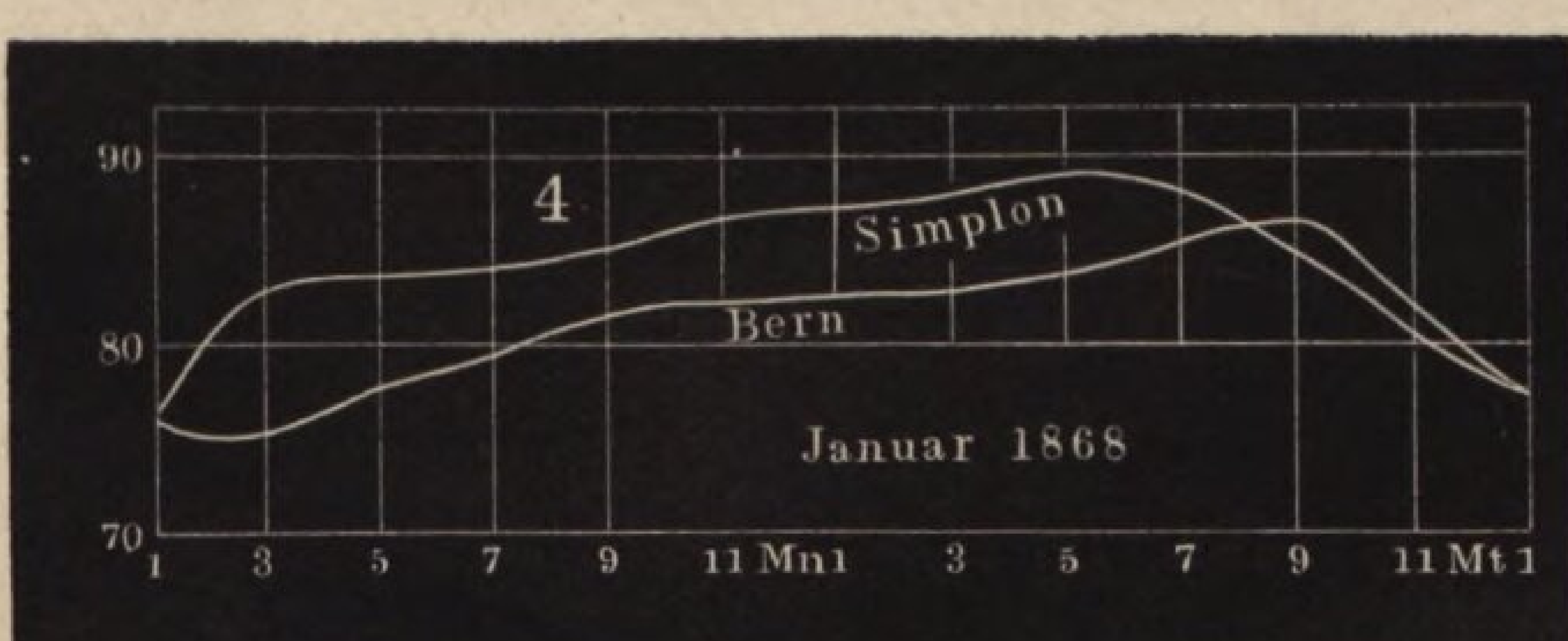
Atmosphärische Feuchtigkeit.

Tab. 21.









9 Uhr, wo ein durch die starke Erwärmung des Bodens veranlasster aufwärtssteigender Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so dass der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert; diese Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; von hier an nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil jetzt die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört, den sich bildenden Wasserdampf wegzuführen; jedoch dauert diese Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Gränze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtet man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufganges.

Die obere Curve unserer Figur zeigt uns das Maximum der Spannkraft, welches der Wasserdampf bei der, jeder Tagesstunde des Monats Juli entsprechenden mittleren Temperatur erreichen könnte. Da die beiden Curven für die Zeit des Sonnenaufgangs sich einander sehr nähern, so ist also um diese Zeit die Luft sehr nahe mit Feuchtigkeit gesättigt. Mit steigender Temperatur nimmt nun zwar anfangs die absolute Menge des Wasserdampfes in der Luft zu, doch nicht im Verhältniss der Temperaturzunahme, der Wassergehalt der Luft entfernt sich also immer mehr von dem ihrer Temperatur entsprechenden Sättigungspunkte oder auch, mit anderen Worten, die Differenz zwischen der Temperatur der Luft und dem Thaupunkte wird immer grösser.

Wir sagen „die Luft ist trocken“, wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunsten schnell trocken werden; dagegen sagen wir „die Luft ist feucht“, wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederschläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkt entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem heissen Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Cubikmeter Luft 13 Gramm Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sei sehr trocken; denn bei dieser Temperatur könnte jedes Cubikmeter Luft 22,5 Gramm Wasserdampf enthalten (siehe die Tabelle Seite 637), oder die Luft müsste bis auf 15° C. erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu sein. Wenn sie dagegen im Winter bei einer Temperatur von + 2° C. nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, weil die Luft für die herrschende Temperatur beinahe vollständig mit

Wasserdampf gesättigt ist und die geringste Temperaturerniedrigung schon einen Niederschlag zur Folge hat.

In diesem Sinne können wir also sagen, dass zur Zeit des Sonnenaufganges die Luft am feuchtesten ist, obgleich der absolute Wassergehalt geringer ist als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen 3 Uhr Nachmittags ist im Sommer die Luft am trockensten.

Die Zeit der beiden Maxima und der beiden Minima des Wassergehaltes der Luft fällt nahe mit den Wendestunden der täglichen Periode des Barometers zusammen, so dass man offenbar sieht, wie diese Perioden durch die Variationen des Wassergehaltes der Luft bedingt sind.

Auf hohen Bergen befolgen die Veränderungen im Dampfgehalte der Luft ein anderes Gesetz, weil der aufsteigende Luftstrom die Wasserdämpfe aus der Tiefe in die Höhe führt. Die unterste der beiden Curven, Fig. 2, Tab. 21, stellt nach den Beobachtungen von Kämtz die Veränderungen dar, welche die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes im Laufe eines Julitages auf dem Rigi erleidet. Man übersieht aus dieser Curve, dass der absolute Wassergehalt der Luft in der Höhe nur ein tägliches Maximum und nur ein tägliches Minimum hat. Auch in der Höhe nimmt der Wassergehalt der Luft von Sonnenaufgang an zu, diese Zunahme dauert aber bis Mittag, während in der Tiefe der Wassergehalt von 9 Uhr an schon wieder abnimmt, weil der aufsteigende Luftstrom, welcher die Abnahme des Wassergehaltes in der Tiefe veranlasst, die dort weggeführten Dämpfe in die Höhe bringt. Von 3 Uhr Nachmittags an, wenn die Stärke des aufsteigenden Luftstroms nachlässt, nimmt der Wassergehalt in der Tiefe wieder zu, in der Höhe nimmt er aber fortwährend ab, weil bei stets abnehmender Temperatur kein Wasserdampf mehr in die Höhe gebracht wird, sondern umgekehrt die Wasserdämpfe sich in die Tiefe senken. Die obere der beiden Curven in Fig. 2, Tab. 21, giebt an, wie gross im Juli auf dem Rigi zu jeder Stunde die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes in Millimetern ausgedrückt sein würde, wenn die Luft stets vollkommen gesättigt wäre. In der Höhe ist dieser Beobachtungsreihe zufolge die Luft viel feuchter, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte viel näher als in der Tiefe; denn die beiden Curven sind für den Rigi fast parallel und nicht weit von einander entfernt, während, wie man aus Fig. 1, Tab. 21, sieht, diese beiden Curven für tiefer gelegene Orte einen sehr ungleichen Lauf haben, und für die Stunden vor und nach Mitternacht sehr weit von einander abstehen.

Die Figuren 3 und 4 auf Tab. 21 stellen nach dem 5. Jahrgange der schweizerischen meteorologischen Beobachtungen den mittleren täglichen Gang der relativen Feuchtigkeit zu Bern und beim Simplon-Hospiz (574 und 2008 Meter über dem Meeresspiegel) für die Monate Januar und Juli im Jahre 1868 dar. Diese Curven zeigen, dass Winters und Sommers die relative Feuchtigkeit der Luft fast für alle Tagesstunden in der Höhe viel bedeutender ist als in der Tiefe, obgleich

der absolute Wassergehalt der Luft mit ihrer Temperatur um so mehr abnimmt, je höher man sich über den Meeresspiegel erhebt.

Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft. 228
Die folgende Tabelle giebt den mittleren Wassergehalt der Luft für die einzelnen Monate des Jahres zu Halle.

Monate.	Spannkraft des Wasserdampfes.	Relative Feuchtigkeit.
Januar	4,509mm	85,0
Februar	4,749	79,9
März	5,107	76,4
April	6,247	71,4
Mai	7,836	69,1
Juni	10,843	69,7
Juli	11,626	66,5
August	10,701	61,0
September	9,560	72,8
October	7,868	78,9
November	5,644	85,3
December	5,599	86,2

Der absolute Wassergehalt der Luft ist wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum; er nimmt bis zum Juli zu, wo er sein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zu Ende des Jahres.

Die letzte Columne dieser Tabelle unter der Ueberschrift „Relative Feuchtigkeit" giebt an, wie viel Procente des bei der mittleren Temperatur des Monats möglichen Maximums des Wassergehaltes im Durchschnitt in der Luft enthalten sind. Im December ist also im Durchschnitt die Luft am feuchtesten, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte am nächsten; im August aber ist die Luft am trockensten, obgleich ihr absoluter Wassergehalt in diesem Monate sehr gross ist, weil sie sehr weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Im August ist der Wassergehalt der Luft im Durchschnitt nur 61 Procent von der Quantität Wasserdampf, welche in der Luft enthalten sein müsste, wenn sie bei der mittleren Temperatur dieses Monats gesättigt sein sollte. In diesem Sinne sind also November, December, Januar und Februar die feuchtesten, Mai, Juni, Juli und August die trockensten Monate des Jahres.

Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden. 229
Die Bildung des Wasserdampfes ist vorzugsweise von zwei Bedingungen

abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Wasser. Bei einem unbegränzten Wasservorrathe werden sich um so mehr Wasserdämpfe bilden, je höher die Temperatur ist; bei gleicher Temperatur aber werden sich in wasserreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in wasserarmen. Daraus folgt nun, dass der absolute Wassergehalt der Luft unter sonst gleichen Umständen von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muss und dass sie im Inneren der grossen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, als auf dem Meere und an den Meeresküsten. Wie sehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweist schon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer. Die Hygrometerbeobachtungen, welche Humboldt und G. Rose in verschiedenen Gegenden von Sibirien gemacht haben, beweisen ebenfalls die ausserordentliche Trockenheit der Atmosphäre in diesen Gegenden. In der Steppe von Platowskaya fanden sie, dass bei einer Temperatur von 23,7° C. die Differenz der beiden Thermometer des Psychrometers 11,7° betrug, während sie bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nur 5 bis 6° beträgt. Nehmen wir an, die Differenz der Thermometer hätte bei einer Temperatur von 24° C. nur 11° betragen, so würde nach der Tabelle auf Seite 642 jedes Cubikmeter Luft 4,5 Gramm Wasserdampf enthalten haben, eine Quantität, mit welcher die Luft erst bei — 3° C. gesättigt ist; da aber die Temperaturdifferenz noch bedeutend grösser war, als wir eben näherungsweise angenommen hatten, so war der Wassergehalt der Luft noch geringer, der Thaupunkt also noch unter — 3° C., die Luft hätte also um mehr als 27° erkaltet werden können, ohne dass ein Niederschlag von Feuchtigkeit erfolgt wäre.

Ein anderes Beispiel ausserordentlicher Trockenheit beobachtete Abbadie in Abyssinien. Zu Abbay am blauen Nil zeigte das trockene Thermometer des Psychrometers 37,1° C., das feuchte 19,9° C.; die Differenz der beiden Thermometer, 17,2°, geht also über die Gränzen der Tabelle auf Seite 642 hinaus. Mit Hülfe der Formel auf Seite 641 ergiebt sich aber, dass das Cubikmeter Luft nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, während es bei 37,1° C. 42,5 Gramm Wasserdampf enthalten könnte. Der Thaupunkt lag bei + 2° C.

Während eines Samums fand derselbe Beobachter am Ufer des rothen Meeres die Temperatur der Luft im Schatten 42,7° C., während das feuchte Thermometer 20,6° C. zeigte. Ein Cubikmeter Luft enthielt demnach nur noch 3,8 Gramm Wasserdampf, also nur $^1/_{15}$ des bei 42,7° C. möglichen Wassergehaltes. (Poggend. Annal. Bd. LXVIII.)

Auf der schweizerischen Naturforscherversammlung, welche im Jahre 1853 zu Pruntrut gehalten wurde, hielt Desor einen Vortrag über das Klima der Vereinigten Staaten von Nordamerika und seinen Einfluss auf die Sitten und Gebräuche ihrer Bewohner, aus welchem sich die hohe Bedeutung ergiebt, welche der Wassergehalt der Atmosphäre auf die klimatischen Verhältnisse eines Landes ausübt.

Bei gleicher mittlerer Jahreswärme und nahezu gleichem jährlichen Gange der Temperatur zeigt doch das Klima eines Ortes in Nordamerika noch grosse Verschiedenheiten von dem der Westküste von Europa, welche den deutschen Auswanderern sehr auffallend sind und sie zu manchen Aenderungen ihrer Gewohnheiten nöthigen. — Die Wäsche trocknet rascher; die Brotvorräthe, welche man in Europa mehrere Wochen lang aufbewahren kann, werden dort in wenigen Tagen ungeniessbar, weil das Brot zu rasch austrocknet. — Die Ernten sind in Nordamerika weniger unsicher als in Europa. — In Nordamerika kann man ohne Nachtheil für die Gesundheit in ein eben erst vollendetes Haus einziehen, man hat nicht nöthig, erst auf das Austrocknen der Wände zu warten; dagegen haben die Schreiner mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen, indem Holz, welches man in Europa für hinlänglich ausgetrocknet halten würde, um es für Möbel zu verwenden, zu Boston und New-York in kurzer Zeit reisst; auch müssen die Schreiner in Amerika viel stärkeren Leim anwenden als in Europa.

Alle diese Erscheinungen deuten darauf hin, dass die Luft an den Ostküsten von Nordamerika im Durchschnitt weit trockener ist als an den Westküsten von Europa.

Da nun aber weder die Regenmenge noch die Anzahl der Regentage in Nordamerika geringer ist als in Europa, so kann der erwähnte Unterschied nur dadurch bedingt sein, dass dort bei schönem Wetter die Atmosphäre weniger mit Feuchtigkeit beladen ist als bei uns. Die Luft bleibt nicht, wie in England und Westeuropa, immer ihrem Sättigungspunkte nahe. Sobald es aufgehört hat zu regnen und der Wechsel des Windes schönes Wetter bringt, geht das Hygrometer augenblicklich herunter und der Thaupunkt sinkt bedeutend unter die Temperatur der Luft.

Die Ursache dieser grösseren Trockenheit ist leicht zu erklären. In Amerika ist Südwest der herrschende Wind, wie in Europa; an den Westküsten von Europa kommt aber dieser Wind mit Feuchtigkeit beladen an, weil er bei seiner Berührung mit dem atlantischen Ocean viel Wasserdampf aufnehmen konnte, der Südwest ist bei uns also Regenwind. Anders an den Ostküsten von Nordamerika; dort kommen die Südwestwinde erst an, nachdem sie einen weiten Weg über Land und über ziemlich hohe Gebirge zurückgelegt haben, wo sie sich ihrer Feuchtigkeit entledigen, weshalb sie nur selten Regen bringen.

Der Einfluss dieser klimatischen Verhältnisse auf die Bewohner von Nordamerika ist auffallend. Selten findet man dort, was man wohlgenährt nennt. Die Nordamerikaner sind meistens mager und zeichnen sich namentlich durch einen langen Hals aus. Europäer, welche nach Amerika kommen, werden bald magerer, während umgekehrt die Nordamerikaner in Europa bald dicker werden.

Dem Europäer, welcher in New-York, Boston oder Baltimore landet, fällt die fieberhafte Regsamkeit auf, welche überall herrscht. Jedermann ist in Eile; die Leute auf der Strasse laufen mehr als sie gehen. Aller-

dings bemerkt man in den grossen Städten Englands etwas Aehnliches, aber die Thätigkeit des Engländers scheint mehr überlegt (raisonnée), sagt Desor, die des Yankee mehr instinktmässig, mehr das Resultat einer natürlichen Ungeduld als der Nothwendigkeit. Der Amerikaner gönnt sich kaum die Zeit zum Speisen, selbst wenn er nichts zu thun hat. Trotz ihrer anscheinenden Kälte sind die Amerikaner weit reizbarer als die Europäer und ihre Empfindlichkeit ist sprichwörtlich. —

Gewiss sind diese Eigenthümlichkeiten des Yankeecharakters vorzugsweise durch die Trockenheit der Luft bedingt, und man würde bei aufmerksamer Beobachtung ähnliche Resultate auch in anderen Ländern finden, die durch grosse Trockenheit der Luft ausgezeichnet sind.

230 **Der Thau.** Wenn man an einem schwülen Sommertage aus einem kühlen Gewölbe eine Flasche kalten Wassers ins Freie bringt, so beschlägt sie, d. h. sie wird in kurzer Zeit mit zarten Wassertröpfchen bedeckt, es setzt sich Thau auf derselben ab.

Der Grund dieser Erscheinung ist leicht anzugeben. Die mit der Flasche zunächst in Berührung tretenden Luftschichten werden erkaltet; da die kältere Luft aber nicht so viel Wasserdampf aufnehmen kann, wie die wärmere, so muss diese Erkaltung nothwendig die Ausscheidung eines Theiles des bisher in jenen Schichten enthaltenen Wasserdampfes zur Folge haben, die condensirten Wasserdämpfe setzen sich aber in Form von Thau auf dem Körper ab, von welchem die Erkaltung ausgeht.

Eine ganz analoge Erscheinung ist das Beschlagen der Fensterscheiben eines bewohnten warmen Zimmers, wenn dieselben von Aussen her erkaltet werden.

Die starke Erkaltung, welche alle Körper der Erdoberfläche in heiteren windstillen Nächten in Folge der nächtlichen Strahlung erleiden (s. §. 187), muss aber in gleicher Weise eine Ausscheidung von Wasserdämpfen in den untersten Luftschichten zur Folge haben, welche sich in Form von Thautropfen auf dem Erdboden, auf Steinen, Gras, Laub etc. ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, so erkalten auch einige stärker als andere, und so kommt es, dass manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch, weil sie frei in die Luft hineinragen, so dass vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethaut als die Steine und den nackten Boden.

Bei der französischen Expedition nach Constantine im October 1836 litten mehr als 100 Mann an erfrorenen Füssen, Händen und Lippen, obgleich das Thermometer nie unter den Gefrierpunkt sank. Der Boden aber, auf welchem man sich nächtlich lagerte, erkaltete viel tiefer.

Alles, was die nächtliche Strahlung hindert oder vermindert, hindert

oder vermindert auch die Thaubildung. Wells legte auf ein Brett, welches in horizontaler Lage durch 4 Stützen 1 Meter hoch über dem Boden gehalten wurde, 10 Gran Wolle und befestigte eine gleiche Quantität Wolle auf der unteren Fläche des Brettes. Nach einer heiteren Nacht ergab sich, dass das obere Wollbüschel 14 Gran, das untere nur 4 Gran Feuchtigkeit aufgenommen hatte.

Wenn man über einer Wiese in der Höhe von 2 bis 3 Fuss ein Leintuch ausspannt, so wird der durch das Tuch gegen die nächtliche Strahlung geschützte Theil der Wiese nicht bethaut, während in der ganzen Umgebung eine starke Thaubildung stattfindet.

Dadurch erklärt sich auch, warum bei bewölktem Himmel keine Thaubildung stattfindet.

Dass der Thau nicht etwa, wie man früher meinte, ähnlich dem Regen, aus der Luft herabfällt, hat Wells durch folgenden Versuch bewiesen. Auf den Boden eines oben offenen Cylinders von gebranntem Thon, welcher $^1/_3$ Meter Durchmesser und 1 Meter Höhe hatte, wurde ein Bündel von 10 Gran Wolle gelegt. Obgleich nun dieses Bündel nach oben hin in keiner Weise geschützt war, so nahm es doch im Laufe einer heiteren Nacht nur 2 Gran Feuchtigkeit auf, während ein in der Nähe ganz frei auf den Boden gelegtes Bündel Wolle in der gleichen Zeit durch Thau um 16 Gran schwerer wurde.

Selbst bei heiterem Himmel thaut es nicht, wenn ein etwas lebhafter Wind weht, weil er stets von Neuem warme Luft mit dem Boden in Berührung bringt und so theilweise wenigstens den Wärmeverlust ersetzt, welcher durch die nächtliche Strahlung veranlasst wird.

Der Reif ist nichts Anderes als ein gefrorener Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0^0 erkaltet ist, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern in Form von Eisnadeln absetzen.

Nebel und Wolken. Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topf 231
mit kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diese Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf im physikalischen Sinne des Wortes; denn es ist ja ein verdichteter Dampf.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit kalten festen Körpern, sondern durch die ganze Masse der Luft hindurch vor sich geht, so entstehen Nebel, welche im Grossen dasselbe sind wie der Schwaden, den wir über kochendem Wasser sehen.

Die Nebel entstehen häufig, wenn das Wasser der Seen und Flüsse oder der feuchte Boden wärmer sind als die schon mit Feuchtigkeit gesättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Wassers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten sich

alsbald wieder, wenn sie sich in der kälteren, schon mit Wasserdämpfen gesättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Wassers und der Luft bilden sich keine Nebel, wenn die Luft trocken ist, so dass sich alle die Wasserdämpfe, welche am Boden aufsteigen, in ihr verbreiten können, ohne sie zu sättigen.

Nach dem, was soeben über die Bildung des Nebels gesagt wurde, erklärt sich leicht, dass sich die Nebel vorzugsweise im Herbste über Flüssen und Seen und über feuchten Wiesen bilden. In England sind die Nebel besonders häufig, weil es von einem warmen Meere umspült ist; ebenso sind die warmen Gewässer des Golfstromes, welcher theilweise bis nach Neufoundland hinaufströmt, die Ursache der dort so häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter scheinbar ganz verschiedenen Umständen; so sieht man dichte Nebel über den Flüssen, während die Luft wärmer ist als das Wasser oder das Eis. In diesem Falle ist die warme Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, und wenn sie sich mit den Luftschichten mischt, welche durch die Berührung mit dem kalten Wasser oder dem Eise schon eine niedrigere Temperatur erlangt haben, so muss nothwendig eine Condensation des Wasserdampfes erfolgen.

Auf dieselbe Weise entstehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüssen und Seen. Die Luft ist wärmer als die Oberfläche des Wassers, aber sie ist mit Feuchtigkeit gesättigt, und sobald sie sich an Orte verbreitet, an welchen die Frische des Wassers fühlbar ist, wird durch die Erkaltung der Wasserdampf verdichtet.

Der Nebel bildet sich jedoch nicht allein über Flüssen und Seen, sondern auch mitten im Lande, sobald durch Luftströmungen wärmere feuchte Luftmassen mit kälteren gemischt und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Die Wolken sind nichts anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen schweben, sowie denn Nebel nichts sind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft sieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf diesen Bergspitzen sich mitten im Nebel befinden.

Auf den ersten Anblick scheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft schweben können, da sie doch aus Bläschen bestehen, welche offenbar schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muss die Luft ihrem Fall einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen, sie können sich also nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine grosse Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Demnach müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch noch so langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, dass bei ruhigem Wetter die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabkommen müssten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen

können aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere, nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke verschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet; in bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen. Ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit grösser ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweggetragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. Howard hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden:

1) Die Federwolke, *cirrus*, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- oder federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Figur 326 (a. f. S.) sieht man sie in dem Eck oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. Bei trockenem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem mehr verwaschen.

2) Die Haufenwolke, *cumulus*, welche in unserer Figur gerade unter die Federwolke gezeichnet ist, bildet grosse halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen; diese Wolken erscheinen vorzugsweise im Sommer; manchmal thürmen sich Haufenwolken zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

3) Die Schichtwolken, *stratus*, sind horizontale Wolkenstreifen (in unserer Figur unter den *cumulus*), welche vorzugsweise bei Sonnenuntergang mit ausserordentlicher Farbenpracht erscheinen.

Diese Grundformen gehen auf mannigfaltige Weise in einander über; Howard hat diese Uebergangsformen durch die Namen *cirro-cumulus*, *cirro-stratus*, *cumulo-stratus* und *nimbus* bezeichnet.

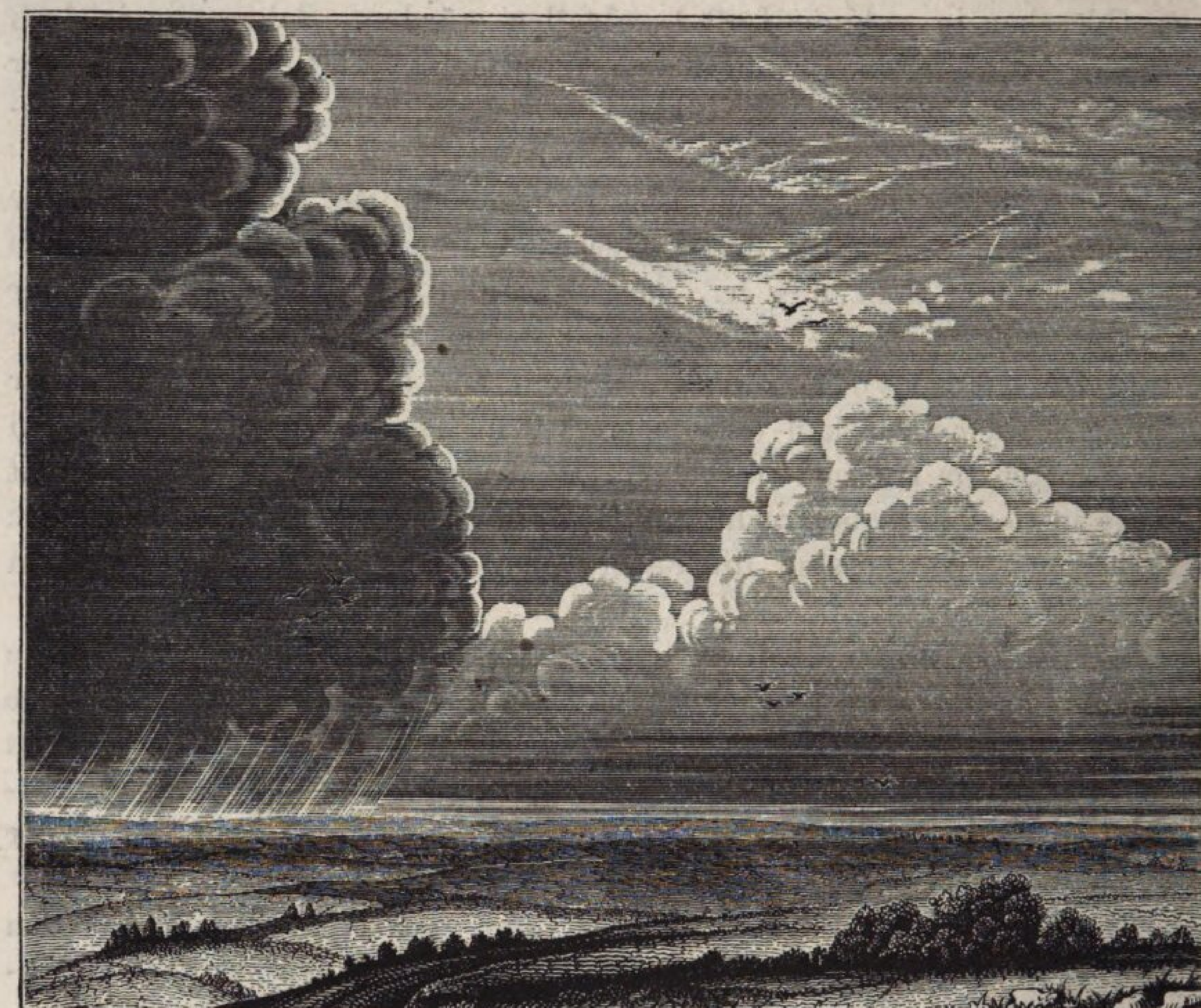
Die fedrige Haufenwolke, *cirro-cumulus*, ist der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke; es sind die kleinen weissen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt sind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerstreut, sondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden sind, so bilden sie die fedrige Schichtwolke, *cirro-stratus*, welche, wenn sie nahe am Horizonte stehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die *cirro-stratus* den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, so gehen sie in die streifige Haufenwolke, *cumulo-stratus*, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauschwarzen Farbentone überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, *nimbus* (in unserer Figur links), übergehen.

Wenn man bedenkt, wie ausserordentlich mannigfaltig an Gestalt sowohl als auch an Farbe die verschiedenen Wolken sein können, so begreift man wohl, dass es oft schwierig ist, zu entscheiden, ob das Ansehen einer Wolke sich mehr dem einen oder dem anderen Typus nähert.

Fig. 326.



Unter allen Wolkenarten sind die Federwolken die höchsten, denn auf hohen Bergen bieten sie noch denselben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle ihre Höhe annähernd zu 20 000 Fuss bestimmt. Es ist höchst wahrscheinlich, dass die *cirrus* nicht aus Nebelbläschen, sondern aus Eisnädelchen bestehen.

Die Haufenwolken bilden sich gewöhnlich, wenn durch den aufsteigenden Luftstrom die Wasserdämpfe in die Höhe geführt, und dort, wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, dass sich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen ist. Gegen Abend wird der Himmel wieder heiter,

weil die Wolken sich wieder senken, wenn der aufsteigende Strom aufhört; in tieferen wärmeren Regionen angekommen, lösen sich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt ist. Wenn aber der Südwestwind mehr und mehr Wasserdämpfe herbeiführt, während die Luft schon mit Dämpfen gesättigt ist, so können die sich senkenden Wolken nicht wieder aufgelöst werden, sie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken schwebt. Die unteren Haufwolken gehen dann mehr und mehr in *cumulo-stratus* über, und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Dunstbläschen grösser und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfliessen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe sind die Regentropfen noch sehr klein, sie werden aber während des Fallens grösser, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

Regenmenge. Die Menge des Regens, welcher an irgend einem Orte der Erde im Laufe eines Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein höchst wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem 232

Fig. 327.

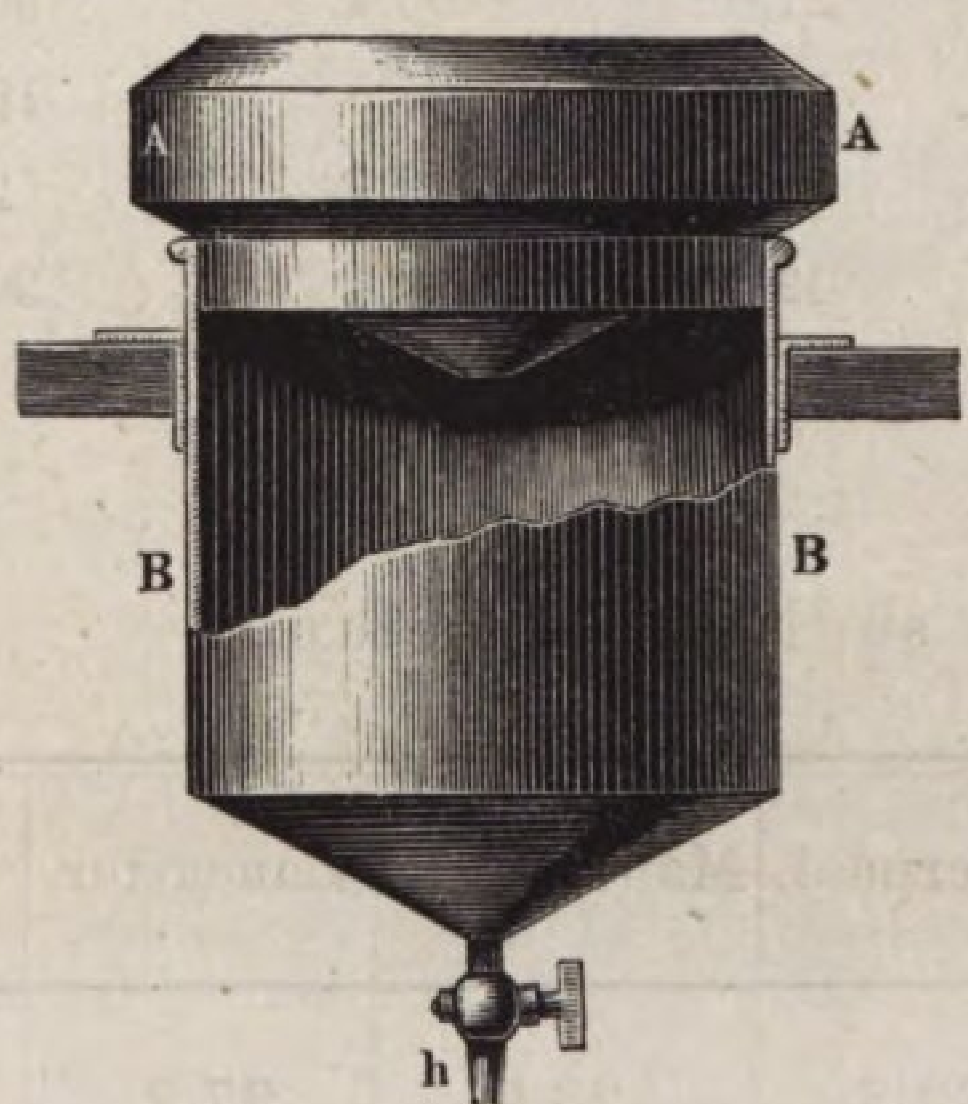
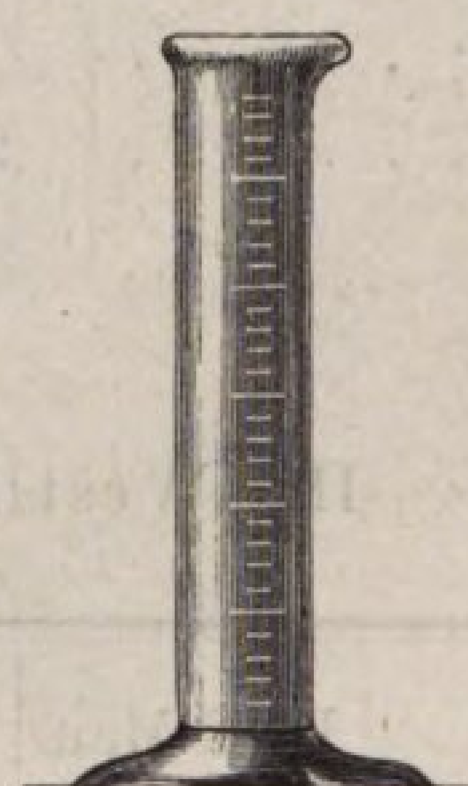


Fig. 328.



Zwecke bedient, werden Regenmesser, Ombrometer, Udometer oder auch Hyetometer genannt. Fig. 327 stellt einen Regenmesser dar, wie dieselben auf den schweizerischen, badischen und russischen meteorologischen Stationen in Anwendung sind. Der Regen fällt in ein Blechgefäss A, dessen obere freie Oeffnung einen Flächeninhalt von 500 Quadratcentimeter hat. Aus A fällt das Wasser durch eine Oeffnung von 1 Centimeter Durchmesser in das Reservoir B, auf welches das Gefäss A so aufgesetzt ist, dass es leicht abgenommen werden kann. Das in B gesammelte Wasser wird jeden Tag um 2 Uhr Nachmittags durch den

Hahn *h* abgelassen und in dem graduirten Glascylinder der Fig. 328 aufgefangen, der so getheilt ist, dass das Wasser, welches den Zwischenraum zwischen zwei auf einander folgenden Theilstrichen ausfüllt, auf einer Fläche von 500 Quadratcentimeter ausgebreitet, dieselbe mit einer $^1/_{10}$ Millimeter hohen Wasserschicht bedecken würde. Wenn also die in einer bestimmten Zeit gefallene Regenmenge den Cylinder bis zum *n*ten Theilstrich (von unten an gezählt) füllt, so ist in dieser Zeit so viel Regen gefallen, dass er den Boden bis zu einer Höhe von $\frac{n}{10}$ Millim. mit Wasser bedeckt haben würde, wenn kein Wasser in den Boden eingedrungen, oder abgeflossen oder verdunstet wäre.

Die folgenden Tabellen geben die Regenverhältnisse verschiedener Orte in Europa.

I. Portugal.

	Lissabon.	Coimbra.	Mafra.	Funchal auf Madeira.
Jährliche Regenmenge	25,4 P. Z.	111,5	41,5	26,0
Im Winter	39,9 Proc.	21,0	53,4	50,6
„ Frühling	33,9	18,6	27,5	16,3
„ Sommer	3,4	17,6	2,7	2,8
„ Herbst	22,8	42,8	16,4	30,3

II. Westliches und südliches England.

	Insel Man.	Bristol.	Liverpool.	Manchester.	Lancaster.	Dover.
Jahr	34,8 P. Z.	21,8	32,3	23,9	37,2	44,1
Winter . . .	27,3 Proc.	20,5	21,6	24,0	26,2	30,3
Frühling . .	18,2	23,8	17,9	20,0	16,1	20,1
Sommer. . .	19,7	23,2	27,7	27,0	28,3	21,6
Herbst . . .	34,8	32,5	32,9	29,0	29,4	28,0

III. Inneres und östliches England.

	Oxford.	London.	Dumfries.	Glasgow.	Edinburgh.	Chattsworth.
Jahr	20,6 P. Z.	23,4	34,7	20,0	23,3	25,9
Winter	21,9 Proc.	23,6	24,6	24,9	23,4	23,2
Frühling . . .	19,3	22,4	18,3	17,8	19,9	19,9
Sommer . . .	24,4	23,5	25,5	29,9	26,8	27,9
Herbst	34,4	30,5	31,6	27,3	29,9	28,9

IV. Westküste von Frankreich und die Niederlande.

	Bordeaux.	La Rochelle.	Franecker.	Rotterdam.	Breda.	Middelburg.
Jahr	24,3 P. Z.	24,2	18,6	21,2	24,7	25,4
Winter	27,7 Proc.	28,2	21,9	16,5	23,2	21,8
Frühling . . .	21,4	19,7	16,8	22,3	18,0	14,1
Sommer . . .	24,1	17,9	28,8	29,8	23,9	31,5
Herbst	26,7	34,2	32,5	31,9	34,9	32,6

V. Westrheinische Gegenden.

	Paris.	Brüssel.	Cambray.	Metz.	Troyes.	Strassburg.	Coblenz.
Jahr . .	20,8 P. Z.	17,9	16,0	27,2	22,4	25,6	20,9
Winter .	20,7 Proc.	18,7	13,8	21,6	18,7	16,0	16,2
Frühling	25,0	23,7	21,9	25	27,4	23,6	24,0
Sommer	30,5	30,7	33,4	21,1	28,1	34,1	35,0
Herbst .	23,8	26,9	30,9	31,1	25,8	26,3	24,9

VI. Deutschland.

	Mannheim.	Stuttgart.	Ulm.	Regensburg.	Tegernsee.	Göttingen.	Erfurt.
Jahr . .	21,0 P. Z.	23,7	25,1	21,1	43,8	24,9	12,6
Winter .	18,3 Proc.	20,1	21,3	19,3	16,4	18,4	15,5
Frühling	23,7	19,8	19,5	17,7	18,5	18,1	21,7
Sommer	32,6	33,5	36,6	40,1	44,7	35,9	41,0
Herbst .	25,4	26,6	22,6	22,9	20,4	27,6	21,8

VII. Schweden, Dänemark und Russland.

	Bergen.	Copenhagen.	Stockholm.	Upsala.	Abo.	Petersburg.
Jahr	83,2 P. Z.	17,3	19,2	16,7	24,2	17,1
Winter . . .	26,6 Proc.	19,1	14,8	17,4	17,7	13,6
Frühling . . .	17,9	15,4	13,3	21,0	18,3	19,4
Sommer . . .	21,0	37,7	38,0	32,8	28,0	36,5
Herbst	34,5	27,8	33,9	28,8	36,0	30,5

VIII. Südöstliches Frankreich und die Schweiz.

	Marseille.	Toulon.	Nimes.	Viviers.	Joyeuse.	Bourg en Bresse.	Toulouse.	Dijon.	Genf.	Bern.	Zürich.
Jahr . .	20,6	17,5	23,7	33,9	47,7	43,3	23,7	23,9	29,8	43,2	32,2
Winter .	20,8	23,0	22,3	19,4	20,3	20,8	21,0	17,9	21,6	20,9	20,3
Frühling	22,3	24,1	24,0	22,2	23,1	24,6	26,2	25,6	21,8	20,0	23,6
Sommer	12,5	9,3	13,9	20,0	16,2	24,4	24,9	27,6	29,7	35,1	33,3
Herbst .	44,4	43,6	39,8	38,4	40,4	30,2	28,8	28,9	26,9	24,0	22,8

IX. Italien.

	Palermo.	Rom.	Genua.	Florenz.	Siena.	Mailand.	Verona.	Padua.	Rovigo.
Jahr	20,7	29,3	44,4	38,7	32,0	35,5	34,6	34,6	30,8
Winter	39,1	31,0	27,2	35,7	19,7	21,1	18,3	19,0	31,0
Frühling	24,3	24,9	28,6	20,9	26,2	24,1	25,4	26,4	27,4
Sommer	5,5	9,7	9,2	12,9	18,2	23,9	26,1	25,6	14,3
Herbst	31,1	34,3	35,0	30,5	36,9	30,9	30,2	29,0	27,3

Die erste Horizontalreihe einer jeden dieser Tabellen giebt die jährliche Regenmenge in Pariser Zollen an, die folgenden Horizontalreihen aber geben an, wie viel Procente der jährlichen Regenmenge auf die einzelnen Jahreszeiten kommen.

Aus der Betrachtung dieser Tabellen ergiebt sich zunächst, dass sich Europa in Beziehung auf die Vertheilung des Regens in drei Provinzen theilen lässt.

In England, auf den Westküsten von Frankreich, in den Niederlanden und Norwegen sind die Herbstregen vorherrschend.

In Deutschland, den westrheinischen Gegenden, Dänemark und Schweden herrschen die Sommerregen vor.

Die Sommerregen treten im südöstlichen Frankreich, Italien, dem südlichen Portugal, überhaupt in dem Theile Europas, welcher Afrika zunächst liegt, bedeutend zurück.

Im Allgemeinen nimmt die Regenmenge mit der Entfernung vom Meere ab; bezeichnen wir die jährliche Regenmenge in Petersburg mit 1, so ist die jährliche Regenmenge

in den Ebenen von Deutschland 1,2
im Inneren von England 1,4
an den Küsten von England 2,1

Die Regenmenge nimmt mit der Höhe der Orte über der Meeresfläche zu, weil die Berge einen Niederschlag veranlassen, wenn sie von einem Strome feuchter Luft getroffen werden; daher die bedeutende Regenmenge in den Alpen.

An einem und demselben Orte nimmt die Regenmenge mit der Höhe über dem Boden ab, wahrscheinlich weil die Regentropfen, indem sie durch die mit Wasserdampf gesättigte Luft herabfallen, sich fortwährend

vergrössern; so fallen z. B. im Hofe des Observatoriums zu Paris im Laufe eines Jahres durchschnittlich 57cm, auf der 28 Meter höher liegenden Terrasse nur 50cm Regen.

Die Anzahl der **Regentage** während eines Jahres nimmt in Europa im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitt kommen auf das Jahr

im südlichen Europa	120	Regentage
im mittleren „	146	„
im nördlichen „	180	„

Dass die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, ist klar; denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, sondern auch, wie viel es regnet. Wenn in den nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens im Allgemeinen ab, und so erklärt es sich z. B., dass in Petersburg die Zahl der Regentage zwar grösser, die Regenmenge aber geringer ist als in Rom.

Mit der Entfernung vom Meere nimmt sowohl die Regenmenge als auch die Zahl der Regentage ab; so kommen z. B. im Durchschnitt

in Petersburg	168
in Kasan	90
in Jakutzk	60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter sonst gleichen Umständen der Regen in wärmeren Gegenden intensiver ist als in kälteren, so ist er auch in der warmen Jahreszeit intensiver als in der kalten. Im Durchschnitt kommen in Deutschland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage ist also im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter, und doch die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt so gross als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen, als sonst in mehreren Wochen.

Von der aus einer langen Reihe von Beobachtungsjahren abgeleiteten mittleren jährlichen Regenmenge eines Ortes weicht die Regenmenge einzelner Jahre in weit auffallenderem Verhältniss ab, als die Mitteltemperatur eines bestimmten Jahres von dem allgemeinen Jahresmittel der Temperatur. Als Mittel aus 30 Jahren (1837 bis 1867) beträgt die jährliche Regenmenge zu **Frankfurt** a. M. 25,9 Pariser Zoll. Im Jahre 1864 betrug die gesammte Regenmenge nur 13,5″, im Jahre 1867 dagegen betrug sie 53,2″. Die Regenmenge des Juli 1867 betrug zu Frankfurt a. M. allein 8,9″, im Juli 1863 hingegen nur 0,7″.

Sehr ungleich ist auch oft die gleichzeitige Regenmenge verschiedener nicht weit von einander entfernter Orte, wie man aus Fig. 3 der Tab. 22 ersieht, in welcher dem 5ten Jahrgang der Schweizerischen Meteorologischen Beobachtungen zufolge die Regenmengen der einzelnen

Tage vom 10. September bis zum 11. October 1868 für den **Bernhardin**, den Gotthard und Altdorf zusammengestellt sind. Die Regenhöhen sind in dieser Figur nur in $^1/_{10}$ der wirklichen Grösse aufgetragen, 1 Millim. also für 1 Centim. Regenhöhe.

Für den 28. September betrug die Regenhöhe für Altdorf 20^{mm}, für den Gotthard 34^{mm}, für den Bernhardin aber 250^{mm} oder ungefähr 9,1 Pariser Zoll. Zu Frankfurt a. M. betrug die gesammte Regenmenge des ganzen Septembers 1868 nur 1,6 Pariser Zoll. Die enormen Regenmassen, welche in der letzten Hälfte des September 1868 auf dem Kamme der Alpen fielen, veranlassten bekanntlich furchtbare Ueberschwemmungen.

Regen zwischen den Wendekreisen. Da, wo die Passat- 233
winde mit grosser Regelmässigkeit wehen, ist der Himmel meistens heiter, und es regnet selten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemisphäre steht. Auf den Continenten aber wird die Regelmässigkeit des Passats gestört durch die Intensität des aufsteigenden Luftstromes, sobald sich die Sonne dem Zenith nähert; um diese Zeit stellt sich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken ist.

Humboldt hat uns die Erscheinungen der nassen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beschrieben. Vom December bis zum Februar ist die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Passatwind weht weniger stark, und oft ist die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; sie bilden sich des Nachmittags, wenn die Hitze am grössten ist, und sind von heftigen Regengüssen begleitet. Gegen Ende April fängt eigentlich die nasse Jahreszeit an; der Himmel überzieht sich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts ist der Himmel meistens rein. Der Regen wird am heftigsten, wenn die Sonne im Zenith steht. Allmälig wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer, und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit ist in verschiedenen Gegenden nicht dieselbe; sie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Ostindien, wo die Regelmässigkeit der Passatwinde durch örtliche Verhältnisse gestört ist und wo statt ihrer die Moussons wehen, finden wir ebenfalls regelmässige Regenverhältnisse; an der steilen Westküste von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unseres Sommers zusammen, sie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südmoussons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anstossen. Während es auf der Küste Malabar regnet, ist auf der Ostküste Coromandel der Himmel heiter; hier stellt sich die Regenzeit mit dem Nordpassat, also gerade zu der Zeit ein, in welcher auf der Westküste die trockene Jahreszeit herrscht.

In der Region der Calmen findet man diese periodischen Regen

nicht, es finden hier fast täglich heftige Regengüsse Statt. Der aufsteigende Luftstrom führt eine Menge von Wasserdämpfen in die Höhe, welche sich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht fast immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag aber bilden sich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich, meist unter heftigen Windstössen und elektrischen Entladungen, eine ungeheure Regenmenge entströmt. Gegen Abend zerstreut sich das Gewölk und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

Die jährliche Regenmenge ist im Allgemeinen in den Tropen sehr gross, sie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leona 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havannah 58,7 und in Grenada 105 Pariser Zoll. Bedenkt man nun, dass der Regen meist nur auf wenige Monate vertheilt ist und dass es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, so ist klar, dass der Regen sehr stark sein muss. In Bombay fiel an einem Tage 5 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen sind sehr gross und fallen mit solcher Geschwindigkeit nieder, dass sie auf der nackten Haut ein schmerzhaftes Gefühl erzeugen.

Die Karte Tab. XXIII soll dazu dienen, ein Bild der Vertheilung des Regens auf der Erdoberfläche zu geben, und zwar ist die Schattirung um so dunkler, je grösser die Regenmenge eines Ortes ist. Man übersieht z. B. aus dieser Karte, dass in der Region der Calmen die Regenmenge sehr bedeutend ist, während auf dem Meere in der Region der Passate ungleich weniger Regen fällt; dass es auf den Inseln und an den meisten Küsten der grösseren Continente mehr regnet als in den Binnenländern u. s. w. Ausserdem findet man auf dieser Karte angegeben, in welcher Jahreszeit der Regen vorherrschend ist.

234 **Hyetographische Karten** sind solche, welche die Regenverhältnisse eines Landes anschaulich machen. In diesem Sinne ist Tabelle XXIII des Atlasses eine hyetographische Erdkarte. Dass eine solche die Regenverhältnisse der Erde nur im Grossen und Ganzen darstellt, dass man aus ihr nicht die speciellen Regenverhältnisse einzelner Länder entnehmen kann, versteht sich von selbst; zu diesem Zwecke muss man Specialkarten der fraglichen Länder von um so grösserem Maassstabe zur Hand nehmen, je mehr man in die Details der Regenvertheilung einzugehen beabsichtigt. In der That sind bereits hyetographische Karten verschiedener Länder ausgeführt worden, von denen wir als Beispiel v. Sonklar's Regenkarte der österreichischen Monarchie (im 4. Bande der Mittheilungen der königl. kaiserl. geograph. Gesellschaft) anführen wollen. Fig. 329 ist eine verkleinerte Copie dieser interessanten Karte, welche sehr deutlich die Beziehungen zwischen Bodengestalt und Niederschlag versinnlicht. Unser Kärtchen zeigt den Verlauf der Isohyeten, d. h. der Linien gleicher jährlicher Regenmenge von 10 zu 10 Pariser Zoll. Die Curve von 20 Pa-

riser Zoll jährlicher Regenmenge schliesst die in der Karte weissgelassenen Gegenden ein, deren jährliche Regenmenge im Durchschnitt unter 20 Zoll beträgt. Die in sich zurücklaufenden Curven von 40″ schliessen die

Fig. 329.



Räume ein, deren mittlere jährliche Regenmenge über 40″ beträgt. Innerhalb der Curven von 40″ liegen die Curven von 50″, 60″ u. s. w. Die grösste Regenmenge des auf unserem Kärtchen dargestellten Gebietes hat Santa Maria am Stilfser Joch; sie beträgt 92 Pariser Zoll.

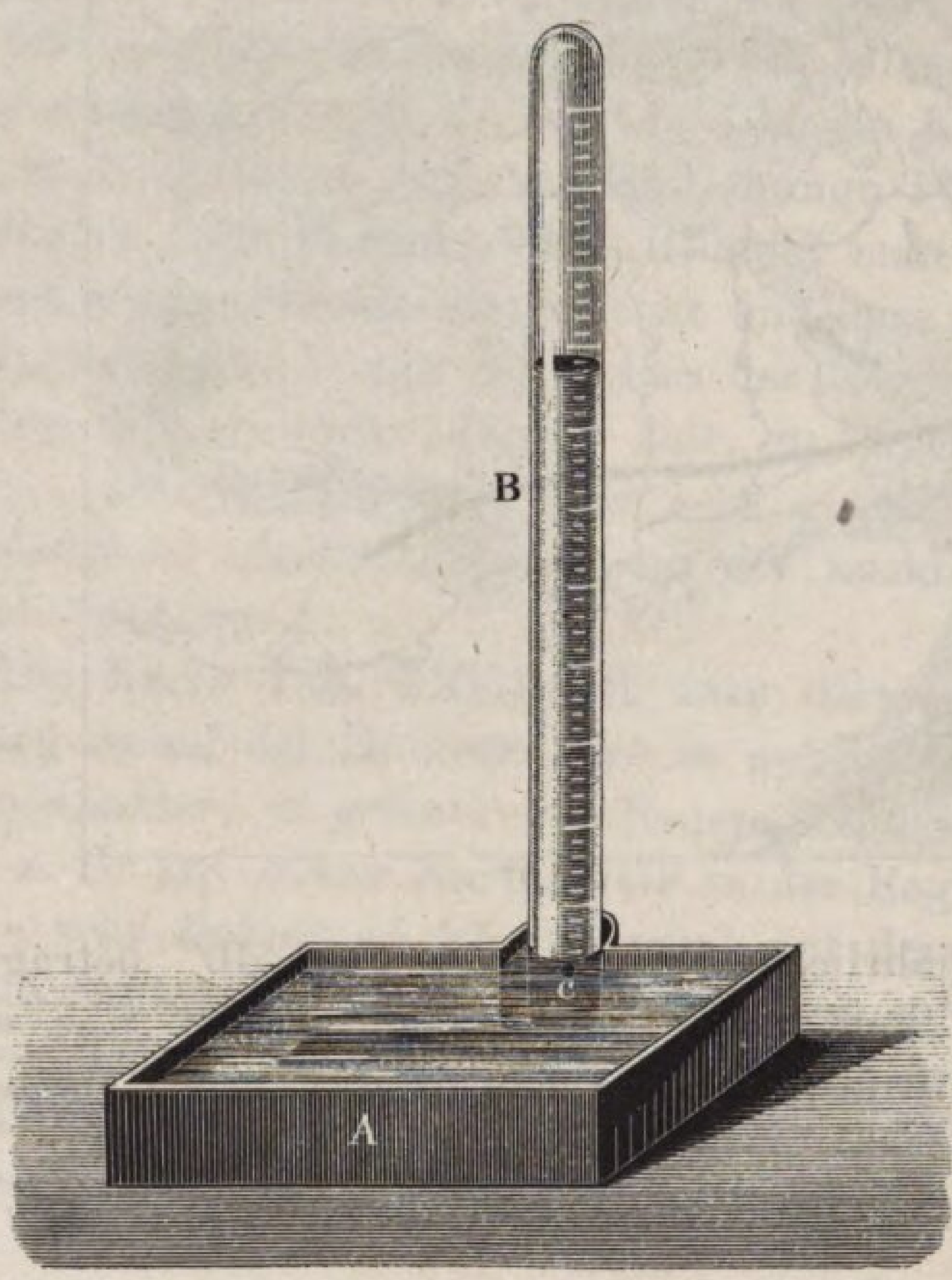
Nördlich von der starken dunklen Linie sind die Sommerregen vorherrschend.

Die Verdunstung. Zu den wichtigsten meteorologischen Daten 235
gehört neben der Regenmenge ohne Zweifel die bis jetzt noch keineswegs genügend berücksichtigte und beobachtete Verdunstung, durch welche von einer freien Wasserfläche sowohl, wie von einem feuchten nackten oder mit Pflanzen bedeckten Boden eine nach Umständen grössere oder kleinere Quantität Wasser als Dampf in die Atmosphäre übergeht.

Die Vorrichtungen, welche man construirt hat, um die Grösse der Verdunstung zu messen, hat man Atmometer oder Evaporometer genannt. Ursprünglich bestanden sie einfach aus oben offenen runden oder quadratischen Gefässen, welche an einem vor Regen geschützten, sonst aber den atmosphärischen Einflüssen möglichst ausgesetzten Orten aufgestellt, nahe bis zum Rande gefüllt wurden. Die Grösse der Verdunstung ermittelte man entweder durch Wägung oder durch Messung der Erniedrigung, welche der Wasserspiegel in Folge der Verdampfung erleidet. In neuerer Zeit hat man vielfach verbesserte Atmometer construirt, welche aber auch zum Theil ziemlich complicirt sind. Eine der zweckmässigsten Formen des Atmometers dürfte wohl das in Fig. 330

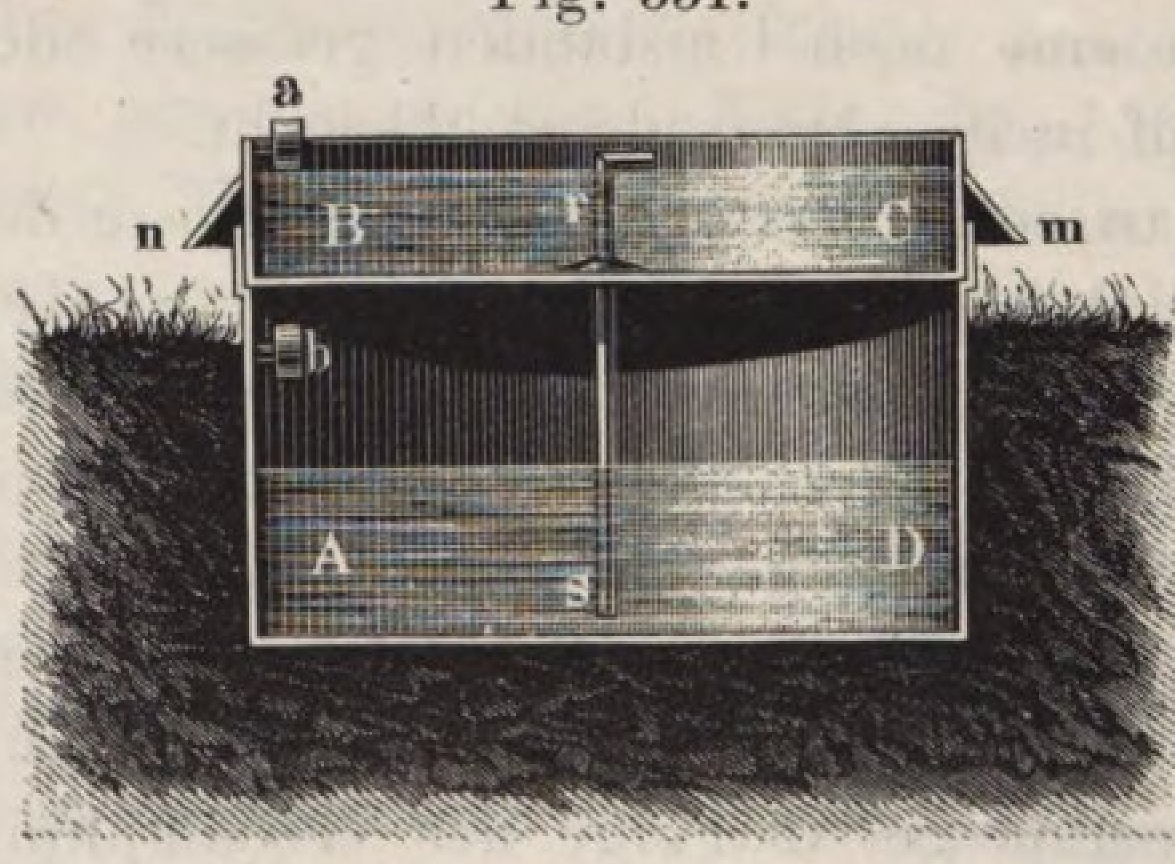
dargestellte Prestel'sche sein (Jelinek, Zeitschrift für Meteorologie I.). An einem Blechgefäss A von quadratischem Querschnitt ist auf der einen Seite eine Nebenkammer angebracht und in diese eine graduirte Glasröhre B eingesetzt, in welche unten bei o eine seitliche Oeffnung eingebohrt ist, welche sich dicht unter dem Wasserspiegel im Gefäss A befindet, so dass, wenn das Nieveau in A etwas gesunken ist, eine Luftblase durch o in die Glasröhre B eintreten und dagegen eine solche Menge Wasser austreten kann, dass der Wasserspiegel in A bis auf ganz kleine Schwankungen unverändert erhalten wird. Die Quantität des in einer bestimmten Zeit vom Spiegel in A verdunsteten Wassers lässt sich mit grosser Genauigkeit an der Theilung des Rohres B ablesen.

Fig. 330.



Dufour hat ein Instrument construirt, welches er Siccimeter nennt (Bull. de la Soc. vaudoise des sciences naturelles tom X, 1869) und dessen Zweck der ist, die Differenz zwischen Regenmenge und Verdunstung anzugeben. Fig. 331 stellt das Siccimeter im Durchschnitt dar. Das aus Zinkblech gefertigte Gefäss AD, welches zum Theil in den Boden eingegraben ist, hat einen Durchmesser von 50 und eine Höhe von 25 Centimeter. Oben ist in dasselbe das Gefäss BC eingesetzt, welches bei gleichem Durchmesser nur 8 Centim. hoch ist und welches gewissermaassen einen Deckel für AD bildet. Das Gefäss BC ist von einem conischen, gleichsam ein Dach bildenden Ringe nm umgeben, welcher verhindert, dass das Wasser längs dem äusseren Umfang von BC in das untere Gefäss eindringen kann. In der Mitte des Bodens von BC ist eine $1^1/_2$ Centim. weite Röhre eingelöthet, welche,

Fig. 331.



wie die Figur zeigt, an ihrem oberen Ende horizontal umgebogen ist und unten nahe am Boden von AD mündet.

Um den Apparat in Gang zu setzen, wird er bis zur oberen Mündung des Rohres rs mit Wasser gefüllt und dann sich selbst überlassen. Durch Verdampfung wird sich der Wasserspiegel im oberen Gefäss senken, während er in Folge von Regen steigt. Wenn innerhalb einer gegebenen Periode die Regenmenge grösser ist als die Verdunstungsmenge, so wird dieser Ueberschuss des gefallenen Wassers durch das Rohr rs in das untere Gefäss AD abfliessen. Nach 2, 3, 4 Tagen wird das Niveau des Wassers in BC, und alsdann, nachdem man das Gefäss BC abgehoben hat, der Stand des Wassers in AD gemessen.

Die Messung des Wasserstandes in AD und BC wird mit Hülfe einer Millimeterscala ausgeführt, welche innerhalb der an der Wand des oberen und des unteren Gefässes befestigten Hülsen a und b auf- und abgeschoben werden kann. Die Maassstäbchen werden in ihrer Hülse so weit herabgeschoben, dass ihr unteres, in eine feine Spitze auslaufendes Ende gerade den entsprechenden Wasserspiegel berührt. Zieht man von der Höhe R, um welche der Wasserspiegel im unteren Gefässe während mehrerer auf einander folgender Tage in Folge von Regen gestiegen ist, die Höhe V ab, um welche der Wasserspiegel des oberen Gefässes in Folge der während derselben Zeit stattgefundenen Verdunstung gefallen ist, so erhält man den Ueberschuss der Regenhöhe über die Verdunstungshöhe. Die Differenz $R - V$ wird negativ, wenn während der fraglichen Periode die Verdunstungsmenge grösser ist als die Regenmenge. Wir werden später noch auf die von Dufour mit dem Siccimeter zu Lausanne erhaltenen Resultate zurückkommen.

Der Verdunstung haben die Meteorologen bisher wenig, offenbar zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt, wir können deshalb hier auch nur vereinzelt stehende Beobachtungsresultate anführen, welche Schübler (Grundsätze der Meteorologie, 1831) zusammengestellt hat:

Jährliche Verdunstung nach Pariser Zollen.

Cumana	130	Würzburg	25,4
Marseille	85	Tübingen	23,9
Rom	73,2	London	23,8
Mannheim	68,8	Breda	23,2
Augsburg	60,1	Rotterdam	23,0
Bordeaux	59,1	Breslau	14,8
Manchester	41,5	Tegernsee	14,7
La Rochelle	26,1	Salzuflen	14,5

Nach Saigey beträgt die jährliche Verdunstung für Paris 800^{mm}. Nach Collin beträgt sie für

Montrijau	1231^{mm}	Dijon	667^{mm}
Cardillau	848	Auxerre	557
Sens	808	Bar-le-Duc	531

Die Verdunstung vertheilt sich sehr ungleich auf die verschiedenen Monate des Jahres. Nach Schübler's dreijährigen Beobachtungen beträgt die tägliche Verdunstung im Schatten zu Tübingen durchschnittlich im

Januar . . .	0,18 Par. Linien	Juli	1,67 Par. Linien
Februar . . .	0,24 „ „	August . . .	1,33 „ „
März	0,67 „ „	September . .	0,98 „ „
April	0,97 „ „	October . . .	0,54 „ „
Mai	1,16 „ „	November . .	0,23 „ „
Juni	1,35 „ „	December . .	0,19 „ „

Dass die Luftbewegung auf die Verdunstung von bedeutendem Einflusse ist, versteht sich von selbst.

Ist das Erdreich durch Regen völlig durchnässt, so verdunstet von ihm während der ersten Stunden nach dem Regen oft mehr Wasser, als von einer freien Wasserfläche, während in den späteren Stunden die Verdunstung rasch abnimmt.

Einen sehr wesentlichen Einfluss übt die Vegetation auf die Verdunstung aus. Schübler fand z. B., dass von einer mit Poa annua dicht bewachsenen Grasfläche während der kräftigsten Vegetationsperiode doppelt, ja dreimal so viel Wasser verdampfte, als von einem danebenstehenden Wasserspiegel. Mit eintretender Reife vermindert sich die Verdunstung.

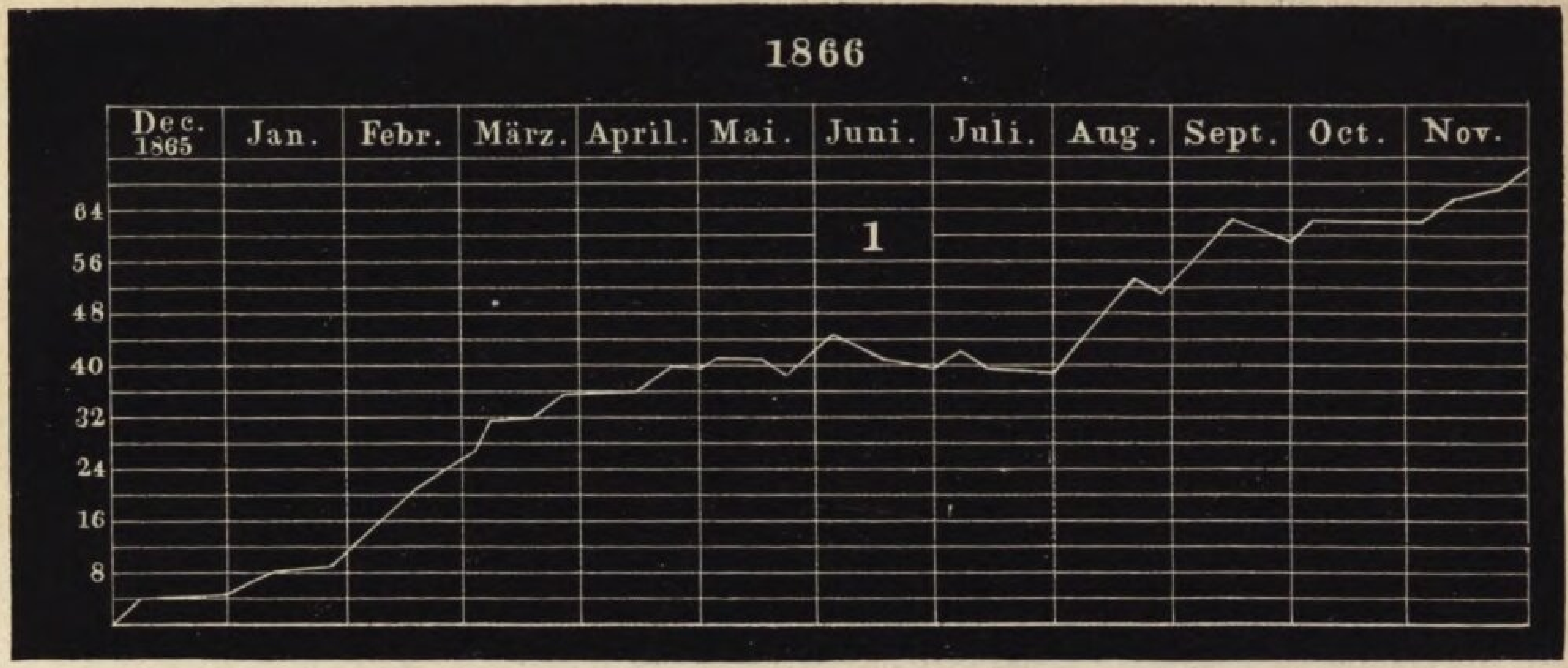
Sehr instructiv sind die leicht graphisch darstellbaren Resultate, welche Dufour mit Hülfe des Siccimeters erhalten hat. Fig. 1 auf Tab. 22 stellt die im Jahre 1866, Fig. 2 stellt die im Jahre 1868 erhaltenen Resultate dar. Ein Aufsteigen der Curve bedeutet einen Ueberschuss der Regenmenge, ein Absteigen dagegen einen Ueberschuss der Verdunstung. So sehen wir z. B., dass schon für die ersten Tage des December 1865 der Ueberschuss der Regenmenge 4^{mm}, dass er bis zum ersten Drittel des Januar 1866 bereits 8^{mm} betrug. Bis zu Anfang des Juni 1866 betrug der Ueberschuss der Regenmenge bereits 44^{mm}, im Laufe des Juni 1866 aber betrug der Ueberschuss der Verdampfung 4^{mm}.

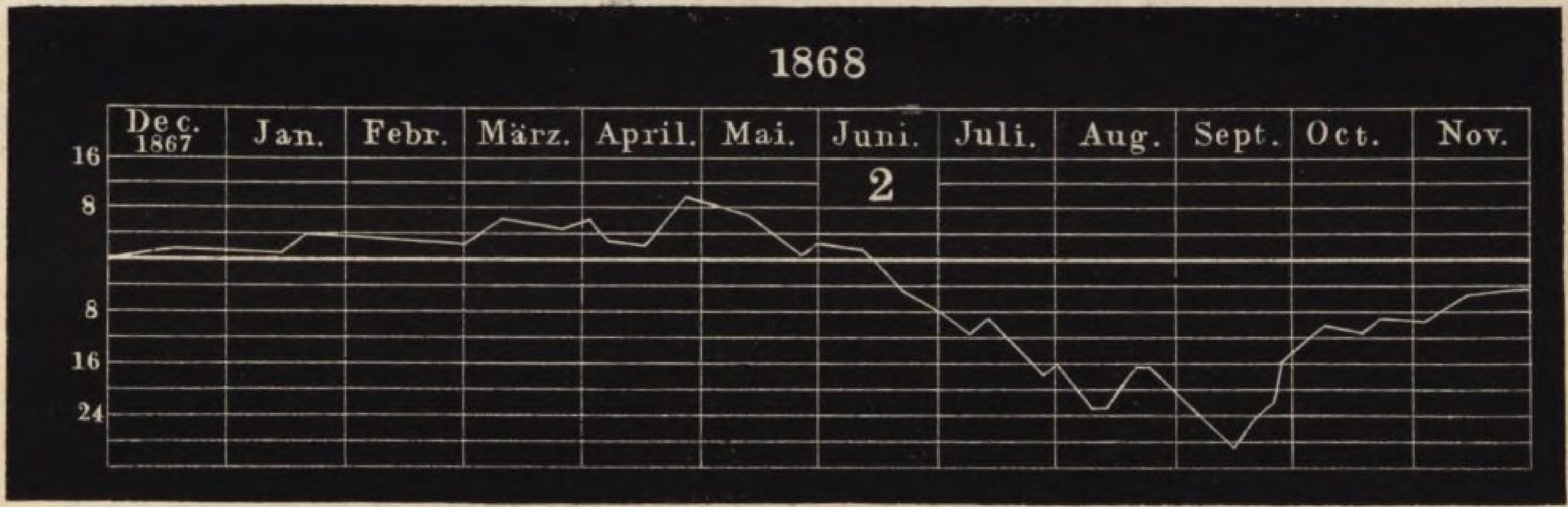
Zu Lausanne betrug der Ueberschuss der Regenmenge für das meteorologische Jahr

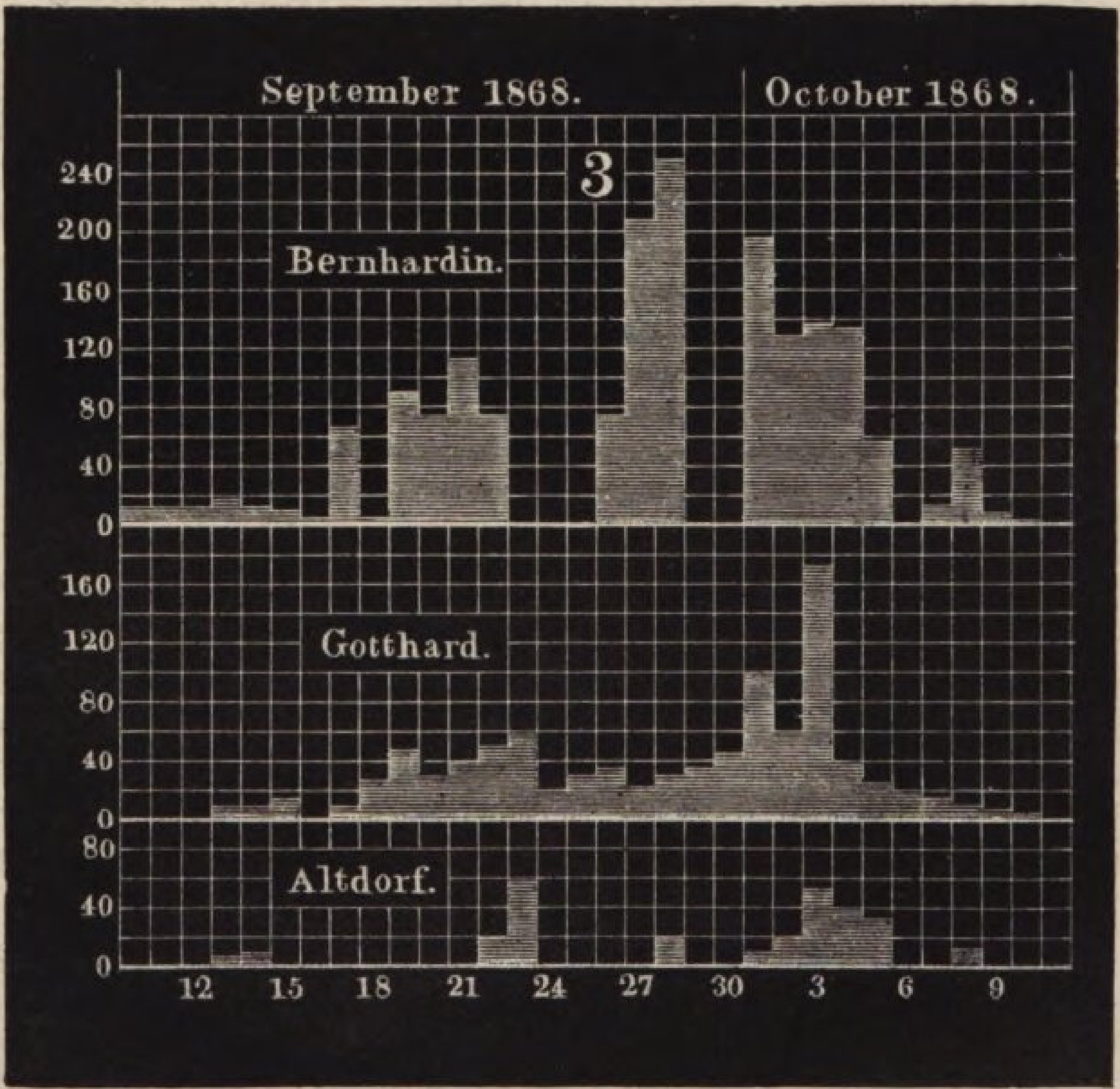
1865	85^{mm}	
1866	690	Fig. 1 Tab. 22
1867	430	
1868	— 278	Fig. 2 Tab. 22

Im meteorologischen Jahre 1868 (von Anfang December 1867 bis zu Ende November 1868) war also die Verdunstung überwiegend, in den drei vorhergehenden Jahren dagegen die Regenmenge. Im Laufe von

Tab. 22.


1866
Dec. 1865
Jan.
Febr.
März.
April.
Mai.
Juni.
Juli.
Aug.
Sept.
Oct.
Nov.
1
64
56
48
40
32
24
16
8


1868
Dec. 1867
Jan.
Febr.
März.
April.
Mai.
Juni.
Juli.
Aug.
Sept.
Oct.
Nov.
2
16
8
8
16
24


September 1868.
October 1868.
3
Bernhardin.
240
200
160
120
80
40
0
Gotthard.
160
120
80
40
0
Altdorf.
80
40
0
12
15
18
21
24
27
30
3
6
9

vier Jahren betrug also der Ueberschuss der Regenmenge über die Verdampfung 927^{mm} oder 491 Pariser Linien.

Gegen diese an den Ufern des Genfer Sees stattfindenden Verdunstungsverhältnisse bilden die von Schenzl zu Ofen beobachteten einen auffallenden Gegensatz. In einer dreijährigen Periode (Anfang Juni 1863 bis Ende Mai 1866) betrug die zu Ofen beobachtete Gesammtverdunstung 2187 Pariser Linien, die gesammte Regenmenge dieser Periode aber nur 567‴, also ein Verdunstungsüberschuss von 1620 Pariser Linien, eine Erscheinung, welche durch die grosse Trockenheit bedingt ist, welche in einem grossen Theile von Ungarn herrscht.

Einfluss des Waldes auf die Regenmenge. Es ist eine 236
vielfach beobachtete Thatsache, dass sich über ausgebreiteten Waldstrecken leichter Wolken bilden als über kahlem Boden, und dass Wolken, welche sich über Wald und Wiese gebildet haben, über kahlem und ödem Felde wieder auflösen. Unter Umständen scheint eine üppige Vegetation selbst auf die Regenmenge von Einfluss zu sein. So gab es in der Mitte des vorigen Jahrhunderts in Oberägypten noch ziemlich häufig Regen, seit aber die Bäume auf den Bergen an den Gränzen des Nilthals von den Arabern umgehauen worden sind, haben die Regen aufgehört und die Wiesen sind verdorrt. Im Gegensatz hierzu regnet es gegenwärtig zu Alexandria in Folge der von Mehmed Ali angelegten grossartigen Baumwollenpflanzungen 30 bis 40 Tage im Jahre und im Winter oft 5 bis 6 Tage hintereinander, während es zur Zeit der Napoleonischen Expedition vom November 1798 bis Ende August 1799 nur ein einziges Mal und zwar nur $^1/_2$ Stunde lang geregnet hatte (Pogg. Ann. XXXVIII).

Aehnliche Erscheinungen werden auch aus Europa berichtet. So lange der District la Bocage in der Vendée bewaldet war, gab es dort Wasser in Ueberfluss, seit den vielen Urbarmachungen aber, welche mit dem Jahre 1808 begannen, entbehren die Aecker oft die Wohlthat des Regens und die Brunnen geben zuweilen nur spärlich Wasser.

Dass die Ausrottung der Wälder eine Austrocknung des Bodens zur Folge hat, ist keine Frage; damit ist aber noch keineswegs bewiesen, dass die Wälder im Allgemeinen einen namhaften Einfluss auf die Regenmenge haben. Bis jetzt ist wenigstens eine Verminderung der durchschnittlichen jährlichen Regenmenge durch Entwaldungen noch für keine europäische Station nachgewiesen worden, und an benachbarten Stationen, von welchen die eine mitten im Walde, die andere ausserhalb desselben in einiger Entfernung von demselben liegt, hat man stets nahezu die gleiche Regenmenge beobachtet. — Die Regenmenge der ausgedehnten Prairieflächen in den Staaten östlich vom Mississippi ist nicht geringer als die Regenmenge der bewaldeten Gränzgürtel.

Und trotzdem sind manche sonst blühende Länder durch fortschreitende Entwaldung in trostlose Wüsten verwandelt worden, in welchen die Trockenheit des Bodens der Cultur die grössten Schwierigkeiten be-

reitet. Im auffallendsten Grade zeigt sich dies fast bei allen Küstenländern des mittelländischen Meeres. Die einst so gepriesenen Cedern des Libanon sind bis auf wenige alte Exemplare verschwunden, und es ist unmöglich, dort neue Wälder aufzubringen. Griechenland ist an vielen Stellen alles Baumwuchses entkleidet; das einst so waldreiche Dalmatien ist gegenwärtig eine schattenlose Steinwüste. Italien, Sicilien, Spanien haben durch Entwaldung schwer gelitten.

Die Gegend südlich von Constantine war einst eine fruchtbare und ihre Ernten nährten damals Rom und Italien. Jetzt ist dem nicht mehr so, sondern es herrscht dort Dürre. Die Ursache dieses Wechsels liegt nicht in Veränderungen, welche von der Natur ausgegangen sind, sondern es ist hier wie vielfach anderwärts der Mensch selbst gewesen, der sich geschädigt hat. Mit der Eroberung des Landes durch die Araber im Beginne des achten Jahrhunderts fängt die Verwüstung an. Mit seinen Hirtengewohnheiten drang dieses Volk in das zuvor ackerbauende Land. Es verbrannte die Wälder um Weidegründe zu erweitern. Die Folgen waren Entwässerung und Entfruchtung. Die Eroberung Algeriens durch die Franzosen hat das Uebel noch vermehrt; sie waren ungeduldig, von dem Boden lohnende Ernten zu gewinnen und verbrannten den Rest der Wälder um ihre Saaten in jungfräulichem Boden von ausserordentlicher Fruchtbarkeit zu legen. In der Folge wurde der Regen seltener, er fällt mehr in Wolkenbrüchen, als in wohlthätigen Schauern, und Wildbäche zerreissen und entführen die Fruchterde.

Auf diese Weise erklärt es sich denn auch leicht, dass die Entwaldung das Land entwässert, ohne dass die Regenmenge abnimmt. Wenn ein Boden, welcher eine starke Neigung hat, mit Pflanzenwuchs und namentlich mit Wald überdeckt ist, so verschlingen sich die Wurzeln in einander und bilden ein Netz, welches dem Boden grosse Festigkeit gewährt; die Zweige mit ihren Blättern schützen den Boden vor dem Anprall starker Regengüsse, und so hindert die Vegetation zunächst das Wegschwemmen der fruchtbaren Erde. Ein bewaldeter Boden ist aber auch im Stande bei starken Regengüssen, bedeutende Wassermassen aufzunehmen, welche er bei eingetretener trockner Witterung nur allmälig an die tieferen Endschichten abtritt; er bildet auf diese Weise ein grosses Reservoir, welches auch in trockenen Tagen noch die Quellen reichlich zu speisen vermag, während von einem der zusammenhängenden Pflanzendecke entblössten Boden bei einigermaassen starkem Regen das Wasser nutzlos in verheerenden Strömen rasch abfliesst.

Die Entwaldung hat also eine Verminderung des Quellenreichthums, und ein Sinken des normalen Wasserstandes der Flüsse zur Folge, während dagegen die Ueberschwemmungen höher steigen und verheerender werden, als es vordem der Fall war. Ein trauriges Beispiel für diese Behauptung bietet das südliche Frankreich und namentlich das Rhonethal.

An den Mündungen der Wolga (Jelinek's Zeitschrift, 5. Bd.) tritt in Folge bedeutender Entwaldungen an ihrem oberen und mittleren Fluss-

gebiete das Hochwasser im Frühjahr früher ein als sonst, weil der Schnee auf dem entwaldeten Boden rascher schmilzt, während gleichzeitig die Dauer des Hochwassers zugenommen hat.

Der Schnee. Die Wolken, aus welchen Schneeflocken herabfallen, 237
bestehen nicht aus Dunstbläschen, sondern aus feinen Eiskryställchen, welche durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen während ihres Herabfallens wachsen und durch Aneinanderhängen einzelner Schneekryställchen die Schneeflocken bilden. Sind die unteren Luftschichten zu warm, so schmelzen die Schneeflocken, ehe sie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben schneit.

Wenn bei ruhiger Luft nur spärliche Schneeflöckchen fallen, so zeigen sie überraschend schöne und regelmässige Kryställchen, welche man am besten beobachten kann, wenn man sie auf einem dunklen unter 0^0 erkalteten Körper auffängt. Schon Kepler hat auf diese Schnee-

Fig. 332.

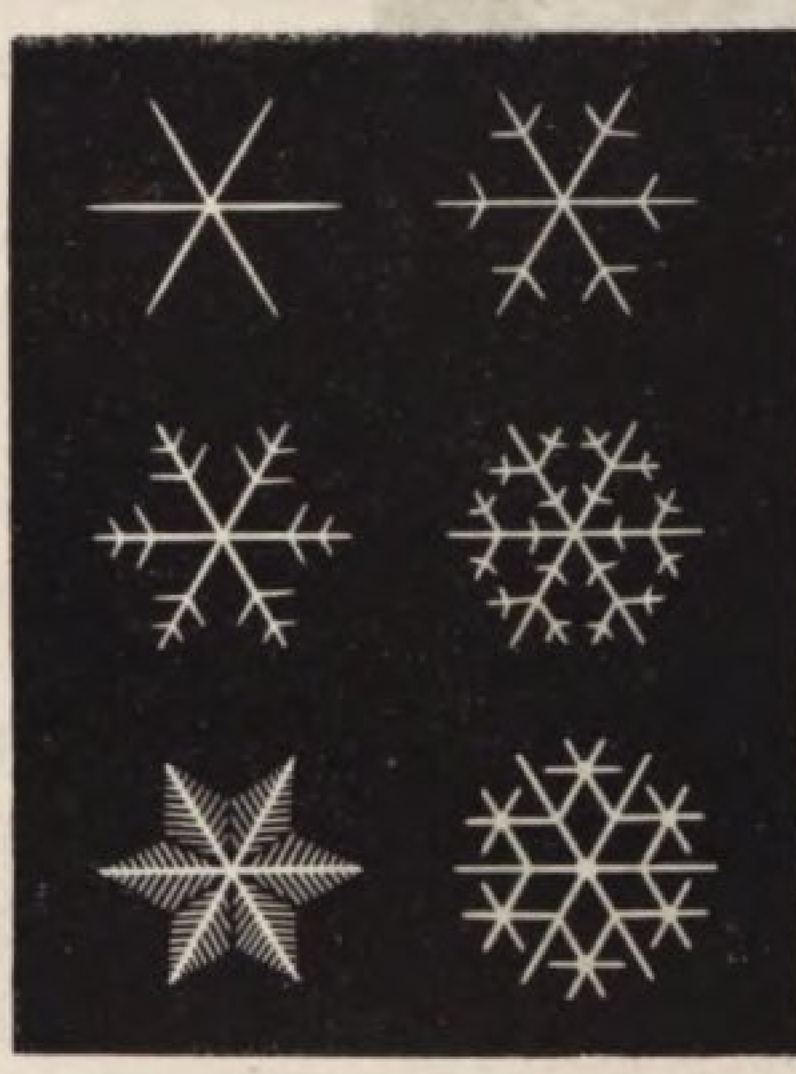


Fig. 334.



sternchen aufmerksam gemacht. — Scoresby, welcher auf seinen Polarexpeditionen reichlich Gelegenheit hatte, Schneeflocken zu beobachten, giebt in seiner „Reise auf den Wallfischfang“ die Abbildung von 100 verschiedenen Schneefiguren, welche bei aller Mannigfaltigkeit doch demselben Krystallsysteme angehören, nämlich dem drei- und einaxigen, dessen bekannteste Repräsentanten Bergkrystall und Kalkspath sind, und welches vorzugsweise durch reguläre sechsseitige Gestalten und deren Ableitungen charakterisirt ist.

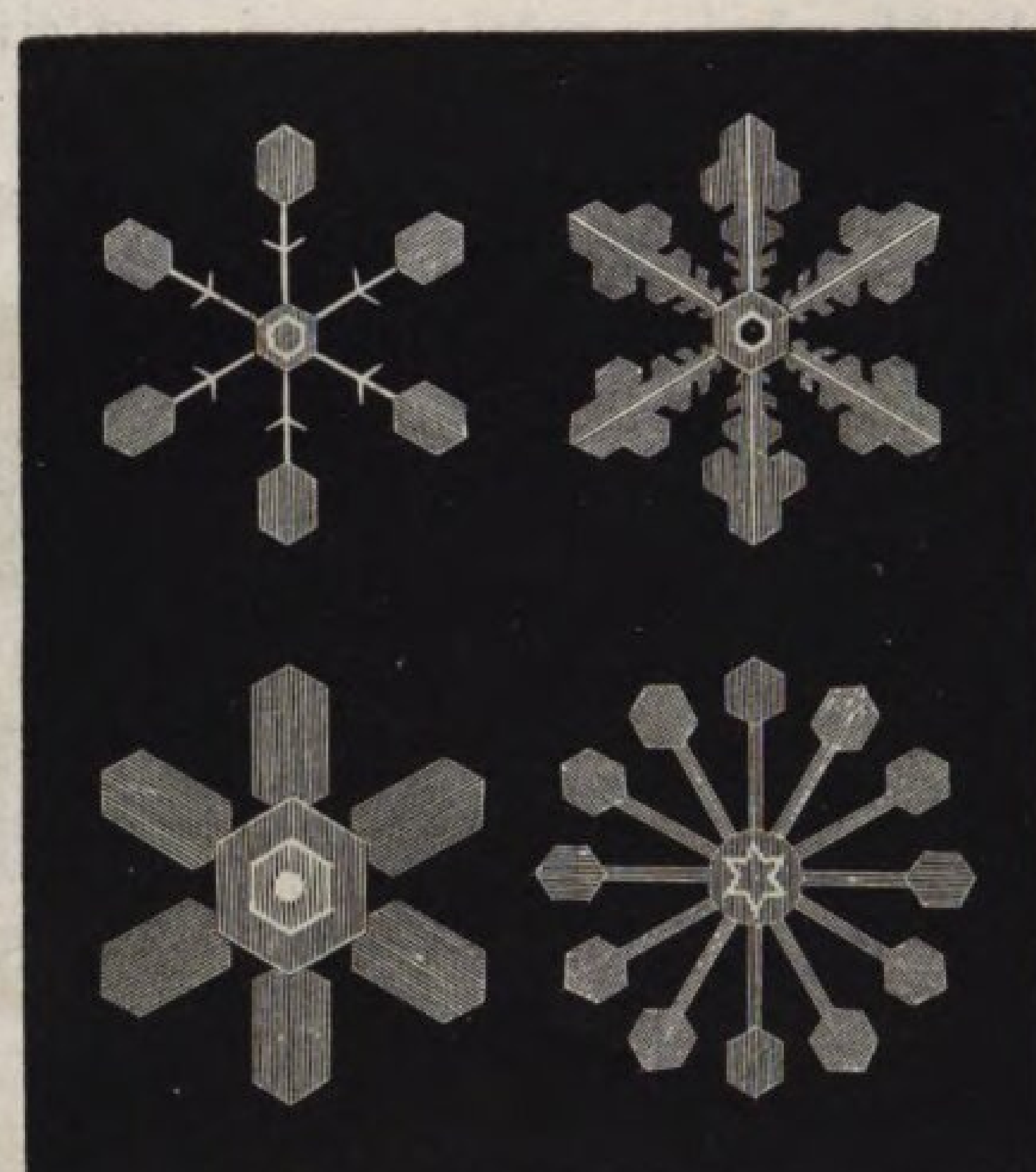
Auch das Eis, wie es sich auf der Oberfläche ruhiger Gewässer bildet, hat eine diesem Krystallsysteme entsprechende Structur, wie sich dies durch die optischen Eigenschaften desselben nachweisen lässt (Lehrbuch der Physik, 7. Aufl. Bd. I. Seite 872), obgleich sich an demselben äusserlich keine Krystallflächen auffinden lassen.

Fig. 332, 333 a. f. S. und 334 zeigen einige Schneefiguren, welche ich im Laufe des Januar und Februar 1855 zu beobachten Gelegenheit hatte. — Bei genauerer Betrachtung findet man bald, dass die Bestandtheile, aus

welchen sich die Schneesternchen zusammensetzen, theils feine Eisnädelchen, theils durchsichtige ganz dünne Eisblättchen sind, welche meist die Gestalt eines regulären Sechsecks haben. Auf diese durchsichtigen Eisblättchen erscheinen dann häufig gleichsam Verstärkungsrippen aufgesetzt, welche nicht wenig zur Verschönerung dieser zierlichen Gestalten beitragen, und welche in dem centralen Theile bald ein regelmässiges Sechseck, bald einen sechsseitigen Stern bilden, wie man dies in Figur 333 sieht.

Die Eisnadeln und die aus solchen gebildeten Combinationen, wie man sie in Fig. 332 sieht, beobachtet man in der Regel, wenn die Temperatur der Luft während des Schneefalls nur wenig unter den Gefrier-

Fig. 333.



punkt gesunken ist; bei niedrigeren Temperaturen werden die Eisblättchen und die aus ihnen gebildeten Combinationen, wie Fig. 333, häufiger. — Unter einer Temperatur von 12^0 findet wohl kaum mehr ein Schneefall Statt.

Die bisher betrachteten Schneesternchen, Fig. 332 und Fig. 333, sind durchaus flächenhafte Gebilde, da sie senkrecht zur Ebene des Sternes nur sehr dünn sind. Körperhaftere Gestalten treten auf, wenn mehrere solcher Schneesternchen den Gesetzen der Zwillingsbildung entsprechend sich so verbinden, dass ihre Ebenen unter Winkeln von 60^0 sich schneiden, oder auch wenn zwei parallele Schneeblättchen durch eine auf ihrer Ebene senkrechte Säule oder Nadel verbunden sind. Gestalten dieser Art sind die beiden unteren in Fig. 334 (a. v. S.). Bei der ersten dieser Figuren sind zwei sechsseitige Eistäfelchen durch eine sechsseitige Säule verbunden. Scoresby bezeichnet diese Gestalt als eine äusserst selten vorkommende; ich selbst habe solche Schneekryställchen im Januar 1854 beobachtet. Die unterste Combination der Fig. 334, bei welcher ein

grösserer Schneestern mit einem kleineren Eistäfelchen durch eine Eisnadel verbunden ist, sah ich häufig zu Anfang März 1855. Die oberste dieser drei Gestalten, die sechsseitige Pyramide, welche an die gewöhnliche Form des Bergkrystalls erinnert, wurde von Scoresby beobachtet; diese Form ist aber gleichfalls eine höchst seltene.

Bei stürmischem Schneefall, wenn die Schneeflocken dicht fallen und in der Luft durcheinander wirbeln, lassen sich die oben besprochenen zierlichen Figuren nicht mehr beobachten; die unter solchen Umständen fallenden Schneeflocken bestehen aus unregelmässig zusammenhängenden Eisnädelchen.

Im Februar 1855 fand ich den frisch gefallenen Schnee ungefähr 7 mal weniger dicht als Wasser, so dass also 7 Cubikfuss frisch gefallenen Schnees ungefähr so viel wiegen wie 1 Cubikfuss Wasser.

Die Oberfläche des Schnees zeigt eine rein weisse Farbe; wo aber der reine Schnee zu etwas grossen Massen angehäuft ist, zeigt sich in Höhlungen und Spalten desselben eine schöne blaugrüne Färbung, welche namentlich deutlich hervortritt, wenn der Schnee durch theilweise Schmelzung etwas mit Wasser durchtränkt ist. Es ist dies dieselbe schöne Färbung, welche man in den Spalten und Höhlungen des Gletschereises bewundert.

Der Graupelregen, welchen man gewöhnlich im März und April beobachtet, entsteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupelkörner bestehen aus ziemlich fest zusammengeballten Eisnädelchen, sie sind gewissermaassen kleine Schneebällchen.

Der Hagel unterscheidet sich von den Graupelkörnern dadurch, 238
dass er nicht aus geballten Eisnädelchen, sondern aus dichtem, meist durchsichtigem Eise besteht.

Die gewöhnliche Grösse der Hagelkörner ist die einer Haselnuss; sehr häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht sonderlich beachtet; oft sind sie aber auch noch weit grösser und zerschmettern dann Alles, was sie treffen. Alte Chroniken erzählen von Hagelkörnern, welche so gross gewesen sein sollen wie Elephanten. Ohne uns bei solchen fabelhaften Erzählungen aufzuhalten, wollen wir sogleich zur Aufzählung zuverlässiger Nachrichten übergehen.

Halley erzählt, dass am 9. April 1697 Hagelkörner fielen, welche 10 Loth wogen; Robert Taylor hat am 4. Mai 1697 Hagelkörner gemessen, deren Durchmesser 4 Zoll betrug. Montignot sammelte den 11. Juli 1753 zu Toul Hagelkörner, welche 3 Zoll Durchmesser hatten. Volta versichert, dass man unter den Hagelkörnern, welche in der Nacht vom 19. auf den 20. August 1787 die Stadt Como und ihre Umgebungen verwüsteten, einige gefunden habe, welche 18 Loth wogen. Nach Nöggerath fielen während des Hagelwetters vom 7. Mai 1822 zu Bonn Hagelkörner, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Die Form der Hagelkörner ist sehr verschieden. In der Regel sind

sie abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. In der Mitte der Hagelkörner befindet sich in der Regel ein undurchsichtiger Kern, welcher den Graupelkörnern gleicht; dieser Kern ist mit einer durchsichtigen Eismasse umgeben, in welcher sich manchmal einzelne concentrische Schichten unterscheiden lassen; bisweilen beobachtet man abwechselnd durchsichtige und undurchsichtige Eisschichten, endlich hat man auch schon Hagelkörner mit strahliger Structur beobachtet.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er begleitet sie. Nie, oder wenigstens fast nie, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meistens nur einige Minuten, selten dauert es $^1/_4$ Stunde lang. Die Menge des Eises, welches in so kurzer Zeit den Wolken entströmt, ist ungeheuer; die Erde ist manchmal mehrere Zoll hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tage als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, scheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeutende Tiefe zu haben; denn sie verbreiten in der Regel eine grosse Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, dass sie eine eigenthümliche grauröthliche Farbe besitzen, dass an ihrer unteren Gränze grosse Wolkenmassen herabhängen und dass ihre Ränder vielfach zerrissen sind.

Die Hagelwolken scheinen meistens sehr niedrig zu schweben. Die Bergbewohner sehen öfter unter sich die Wolken, welche die Thäler mit Hagel überschütten: ob jedoch die Hagelwolken immer so tief ziehen, lässt sich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel stets von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Um einen Begriff zu geben, wie weit und wie schnell sich diese furchtbare Geissel verbreiten kann, mögen hier einige nähere Angaben über das Hagelwetter folgen, welches den 13. Juli 1738 Frankreich und Holland durchzog.

Das Hagelwetter verbreitete sich gleichzeitig in zwei parallelen Streifen; der östliche Streifen war schmäler, seine grösste Breite betrug 3, seine geringste $^3/_5$ geographische Meilen; der westliche Streifen war an seiner schmalsten Stelle nahe 2, an seiner breitesten 3 Meilen breit. Diese beiden Streifen waren durch einen im Durchschnitt $3^1/_4$ Meilen breiten Streifen getrennt, auf welchem es nur regnete.

Die Richtung dieser Streifen ging von Südwest nach Nordost. Eine von Amboise nach Mecheln gezogene gerade Linie bildete ungefähr die Mitte des östlichen, eine andere von der Mündung des Indre in die Loire bis Gent gezogene bildete ungefähr die Mitte des westlichen Streifens.

Auf dieser ganzen Länge, welche über 100 Meilen beträgt, fand keine Unterbrechung des Gewitters Statt, und sicheren Angaben zufolge kann man annehmen, dass es sich noch 50 Meilen weiter nach Süden und 50 Meilen weiter nach Norden erstreckte, so dass seine Totallänge über

200 Meilen betrug. Es verbreitete sich mit einer Geschwindigkeit von 16 Meilen in der Stunde von den Pyrenäen, wo es seinen Anfang genommen zu haben scheint, bis zum Baltischen Meere, wo man seine Spur verlor.

Der Hagel fiel nur 7 bis 8 Minuten lang; die Hagelkörner waren theils rund, theils zackig; die schwersten wogen 16 Loth.

Die Zahl der in Frankreich verwüsteten Pfarrdörfer betrug 1039; der Schaden, welchen das Wetter anrichtete, wurde nach officiellen Angaben auf 24,690,000 Franken geschätzt.

Was die Erklärung des Hagels betrifft, so bietet sie zwei Schwierigkeiten; nämlich woher die grosse Kälte kommt, welche das Wasser gefrieren macht, und dann, wie es möglich ist, dass die Hagelkörner, wenn sie einmal so gross geworden sind, dass sie eigentlich durch ihr Gewicht herabfallen müssten, noch so lange in der Luft bleiben können, dass sie zu einer so bedeutenden Masse erwachsen können.

Was die erste Frage betrifft, so meinte Volta, dass die Sonnenstrahlen an der oberen Gränze der dichten Wolke fast vollständig absorbirt würden, was eine rasche Verdunstung zur Folge haben müsse, namentlich wenn die Luft über den Wolken sehr trocken ist; durch diese Verdunstung solle nun so viel Wärme gebunden werden, dass das Wasser in den tieferen Wolkenschichten gefriert. Wenn aber die Verdunstung des Wassers in den oberen Wolkenschichten durch die Wärme der Sonnenstrahlen veranlasst wird, so ist nicht einzusehen, warum durch die Verdunstung den tieferen Wolkenschichten so viel Wärme entzogen werden soll.

In Beziehung auf die zweite Frage schlug Volta eine Theorie vor, welche grosse Celebrität erlangt hat; er nimmt nämlich an, dass zwei mächtige, mit entgegengesetzter Elektricität geladene Wolkenschichten über einander schweben. Wenn nun die noch sehr kleinen Hagelkörner auf die untere Wolke fallen, so werden sie bis zu einer gewissen Tiefe eindringen und sich mit einer neuen Eisschicht umgeben; sie werden sich aber auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieser zurückgestossen, während die obere sie anzieht; sie steigen also trotz ihrer Schwere wieder zur oberen Wolke in die Höhe, wo sich derselbe Vorgang wiederholt; so fahren sie eine Zeitlang zwischen den beiden Wolken hin und her, bis sie endlich herabfallen, wenn sie zu schwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren.

Gegen diese Ansicht lässt sich einwenden, dass es schwer denkbar ist, wie die Elektricität ohne eine plötzliche Wirkung, also ohne einen Entladungsschlag, so grosse Eismassen in die Höhe zu heben vermag, und dass, wenn wirklich die elektrische Ladung der beiden Wolken auch so stark sein sollte, die Elektricität augenblicklich von einer zur anderen übergehen müsste, namentlich da ja die Hagelkörner eine leitende Verbindung zwischen ihnen herstellen.

Bereits im Januar 1849 theilte mir Fr. Vogel aus Frankfurt a. M. eine Ansicht über Hagelbildung mit, die ein, so viel ich weiss, bis dahin

ganz unbeachtet gebliebenes Element zur Erklärung dieses räthselhaften Phänomens enthält. Vogel meint nämlich, dass der Bläschendampf, welcher die Wolken bildet, ebenfalls weit unter den Schmelzpunkt des Eises erkalten könne, ohne dass ein Erstarren eintritt, wie man dasselbe beim tropfbar flüssigen Wasser beobachtet (Lehrbuch der Physik, 7. Aufl. 2. Bd. S. 686). Wenn nun aus einer höheren Wolkenschicht Graupelkörner durch eine in diesem Zustande befindliche Wolke herabfallen, so muss auf ihnen sich Wasser niederschlagen, welches augenblicklich erstarrt. Der niedrigen Temperatur der Wolke wegen kann auf diese Art in ganz kurzer Zeit eine massenhafte Eisbildung stattfinden.

Es ist nun zunächst die Frage, ob es noch andere Phänomene giebt, welche gleichfalls darauf hindeuten, dass der von Vogel angenommene Zustand der Wolken wirklich existirt, d. h. dass es wirklich Regenwolken gebe, welche weit unter 0^0 erkaltet sind. (Bei den Schneewolken sind die Wassertheilchen bereits in den festen Zustand übergegangen; denn diese Wolken bestehen aus feinen in der Luft schwebenden Eisnädelchen.)

Ich selbst habe in der That ein solches Phänomen beobachtet. Im Januar 1845 fiel, nachdem das Thermometer einige Tage lang über dem Gefrierpunkte gestanden hatte, ein Regen, welcher den Boden mit einer Eiskruste überzog. Dass diese Erscheinung nicht etwa ein gewöhnliches Glatteis war, versteht sich von selbst, denn der Boden war nicht unter 0^0 erkaltet, er konnte also nicht die Ursache der Erstarrung sein. Sogar Regenschirme, die aus dem warmen Zimmer genommen waren, wurden in kurzer Zeit durch diesen Regen mit einer $^1/_2$ Linie dicken durchsichtigen Eiskruste überzogen.

Am 13. November 1858 habe ich dieselbe Erscheinung abermals beobachtet.

Diese auffallende Erscheinung, welche ich als eine ganz vereinzelt stehende Thatsache fast vergessen hatte, erhielt nun durch Vogel's Mittheilung eine grosse Bedeutung; denn sie liefert den Beweis, dass der von Vogel angenommene Zustand der Wolken wirklich vorkommt. Offenbar bestanden die fallenden Regentropfen aus Wasser, welches unter den Gefrierpunkt erkaltet war, aber erst beim Aufschlagen auf feste Körper erstarrte.

Etwas später als Vogel theilte mir C. Nöllner in Hamburg eine ganz ähnliche Ansicht über Hagelbildung mit, ohne dass er wohl von Vogel's Theorie, die meines Wissens noch nirgends publicirt worden war, Kenntniss haben konnte.

Eine schöne Bestätigung der eben vorgetragenen Theorie der Hagelbildung lieferte die am 27. Juli 1850 von Barral und Bixio zu Paris unternommene Luftfahrt. — Der Himmel, welcher bis Mittag vollkommen rein gewesen, begann um 1 Uhr, als die Füllung des Ballons beendigt war, sich mit Wolken zu überziehen und alsbald trat Regen ein,

welcher bis 3 Uhr in Strömen herabfiel. Erst um 4 Uhr, als der Himmel noch ganz bedeckt war, konnte die Fahrt begonnen werden.

Folgendes sind einige Temperaturbeobachtungen, welche in den beigesetzten, durch das Barometer bestimmten Höhen beobachtet wurden.

Nr. 1 . .	16° C. . .	2300 Par. Fuss
„ 2 . .	9 „ . .	6000 „ „
„ 3 . .	0,5 „ . .	11250 „ „
„ 4 . .	— 7,0 „ . .	15360 „ „
„ 5 . .	— 10,0 „ . .	18990 „ „
„ 6 . .	— 15,0 „ . .	19530 „ „
„ 7 . .	— 39,0 „ . .	21060 „ „

Kurz nach dem Aufsteigen sahen sich die Luftschiffer in einen leichten Nebel eingehüllt; bei der Beobachtung Nr. 2, also in einer Höhe von ungefähr 6000 Fuss, hatten sie bereits eine Wolkenschicht unter sich, welche Paris verdeckte.

Bei der Beobachtung Nr. 4, also in einer Höhe von 15360 Fuss, wurde der Nebel so dicht, dass ihnen die Erde vollständig verschwand. Bei Nr. 5 wurde der Nebel etwas dünner, so dass man ein weisses blasses Sonnenbild sehen konnte, zugleich fielen äusserst feine Eisnädelchen nieder; kurz darauf erhoben sie sich aus der Wolkenschicht, wobei das Thermometer rasch auf — 23,8° C. fiel. Bei den Beobachtungen Nr. 6 und Nr. 7 war der Himmel vollkommen heiter.

Barral und Bixio durchstiegen also eine Nebelschicht von wenigstens 12000 Fuss Höhe. Von einer Höhe von ungefähr 11000 Fuss an sank das Thermometer unter den Gefrierpunkt, und doch ging der Nebel erst in einer Höhe von nahe 18000 Fuss bei einer Temperatur von — 10° in Schneewolken (Eisnädelchen) über, es war also eine ungefähr 7000 Fuss hohe Wolke vorhanden, in welcher der Bläschendampf unter den Gerfierpunkt erkaltet war.

Im Jahre 1862 veröffentlichte Mohr eine neue Hageltheorie, welche die Hagelbildung auf das Hereinbrechen kalter Luftmassen aus den höheren Luftregionen in tiefere, mit Wasserdampf gesättigte Luftschichten zurückzuführen sucht.

Der gleiche Grundgedanke liegt auch einer schon im Jahre 1844 von Schwaab in Kassel veröffentlichten Hageltheorie zu Grunde.

Einen besonderen Werth erhält die als Inauguraldissertation bei Burckhardt in Kassel erschienene Schwaab'sche Abhandlung durch eine Zusammenstellung der Hagel-Literatur.

Die Grundidee Schwaab's ist folgende: Bei der Hagelbildung muss ein kalter Luftstrom in die Gewitterregion eindringen, wobei eine Vermischung der verschieden erwärmten Luftschichten vor sich geht. Hierdurch wird der Wassergehalt derselben condensirt, es bilden sich Schneeflocken und Graupeln, welche bei ihrer Fortbewegung vergrössert

(indem auf ihrer Oberfläche beständig Dampf niedergeschlagen wird, der dann ebenfalls gefriert), zuletzt als Hagelkörner herabfallen.

In eine mit Wasserdampf gesättigte und dadurch gleichsam für das Gewitter vorbereitete Atmosphäre kann nun ein kalter Luftstrom entweder dadurch eindringen, dass sich die kalten Luftschichten aus den oberen Regionen senken, oder dadurch, dass ein eisiger Luftstrom aus der nördlichen Zone heranstürmt. Im ersteren Falle wird sich, wie Schwaab sagt, die kalte Luft über den mit Wasserdampf gesättigten Schichten ausbreiten und nach und nach in denselben einsinken; im zweiten Falle aber wird der kalte Luftstrom die mit Wasserdampf gesättigten Schichten durchbrechen und sich schneller oder langsamer mit ihnen mischen oder auch mehr unter denselben in den tieferen Regionen näher der Erde hinströmen.

Ohne weiter in das Detail der Schwaab'schen Entwickelungen einzugehen, muss nur noch bemerkt werden, dass er die Wärmemenge, welche bei der Condensation des Wasserdampfes und dem Gefrieren der in der Luft schwebenden Wassermassen frei wird, für so gering hält, dass sie bei der Betrachtung vernachlässigt werden könne, eine Behauptung, welcher ich durchaus nicht beistimmen kann.

Mohr hat seine Hageltheorie im CXVII. Bande von Poggendorff's Annalen (1862) publicirt. Eine nur oberflächliche Vergleichung des Mohr'schen Aufsatzes und der Schwaab'schen Abhandlung reicht hin, um die Ueberzeugung der vollen Originalität der Mohr'schen Arbeit zu begründen.

Im Eingang seiner Abhandlung bespricht Mohr kurz die Hageltheorien von Volta, Leopold v. Buch und Vogel und sagt, dass sie den gemeinschaftlichen Fehler haben, die Entstehung der Kälte erklären zu wollen, welche das Gefrieren bewirkt. Der Vogel'schen Theorie kann aber dieser Vorwurf so wenig gemacht werden, wie seiner eigenen, von welcher Mohr sagt: Ich erkläre nicht die Entstehung der Kälte, sie ist vorhanden; sie liegt in den oberen Schichten der Atmosphäre. Mit gleichem Rechte kann man von der Vogel-Nöllner'schen Theorie sagen: sie erklärt nicht die Entstehung der Kälte, sie ist vorhanden; sie liegt in den unter 0^0 erkalteten und doch noch flüssiges Wasser enthaltenden Wolken. — In dieser Beziehung stehen also die beiden Theorien, so verschieden sie auch sonst sein mögen, auf völlig gleichem Boden.

Den Ausgangspunkt der Mohr'schen Hageltheorie bildet die Thatsache, dass in höheren Luftregionen die Temperatur ausserordentlich schnell abnimmt (so fanden z. B. Barral und Bixio bei einer Luftfahrt in einer Höhe von 19 500 Fuss die Temperatur — 15^0 C., in einer Höhe von 21 000 Fuss aber — 39 C.), und dass ferner in einer Höhe von ungefähr 18 000 Fuss das Volumen des gesättigten Wasserdampfes 200 000 bis 300 000mal viel grösser ist, als das Volumen einer gleichen Quantität flüssigen Wassers. „Es muss also,“ sagt Mohr weiter, „mit der Verdichtung von Wasserdampf eine ganz ungeheure Raumverminderung

stattfinden, so dass 1 Kubikmeter Wasserdampf nur zwischen 3 bis $3^1/_2$ Kubikcentimeter flüssiges Wasser giebt. Diese Raumverminderung oder Vacuumbildung ist nun die eigentliche Ursache aller hier auftretenden Erscheinungen. Das Vacuum kann nur von den Seiten und von oben ausgefüllt werden, alle diese Schichten sind kälter, stürzen mit Bewegung in den luftverdünnten Raum, bringen dort wegen ihrer Kälte neue Verdichtung und Raumverminderung hervor und sind dadurch die Ursache, dass wieder neue, noch höhere und kältere Luftschichten herangezogen werden. Je rascher die Verdichtung der Wasserdämpfe durch die hineinfallende kalte Luft geschieht, desto mehr muss der Ersatz aus den senkrecht darüber liegenden Schichten genommen werden und desto weniger haben die daneben liegenden Luftschichten Zeit, in das Vacuum nachzurücken. Indem aber die kälteren Luftschichten aus dem geringeren Druck der grösseren Höhe in tiefere Schichten der Atmosphäre angesaugt werden, gerathen sie unter einen höheren Druck und werden nach dem Mariotte'schen Gesetz zusammengedrückt. — Dies ist der zweite Grund der so ungeheuren Gleichgewichtsstörung, dass jeder Raum durch blosse Ortsveränderung eine grosse Einbusse an Volum erleidet. Es wird also der über der Verdünnungsstelle gebildete leere oder luftverdünnte Trichter grösser sein, als das von ihm in den unteren Schichten ausgefüllte Vacuum ist. Zwar wird die herabgezogene kalte Luft durch Compression etwas erwärmt, auch hat der verdichtete Wasserdampf seine latente Wärme abgegeben, aber diese schwachen Wärmewirkungen werden reichlich von der Kälte der oberen Schichten absorbirt, und ihre Wirkung besteht bloss darin, dass der Hagel nicht ganz so kalt ist als die Luft, welche ihn gebildet hat.

„Es ist einleuchtend, dass jede Hagelbildung mit Wasserverdichtung anfangen muss, denn im Anfang werden die nächsten wenig kalten Luftschichten eingeschlürft und diese werden den Wasserdampf zu abgekühltem Wasser verdichten. Indem dies Wasser herunterfällt und in den unteren wasserreichen Luftschichten neue Wasserbildung und Raumverminderung erzeugt, werden die kälteren höher liegenden Schichten herangezogen und das bereits gebildete flüssige Wasser zum Gefrieren gebracht. — — Was kann geschehen, wenn Wasser bereits flüssig geworden ist und es wird — — — eine Luftschicht von — 35° C. hineingewirbelt? Es gefrieren nicht nur die einzelnen Tropfen, sondern es frieren eine Menge Tropfen im Augenblick des Erstarrens an einander. — —

„Es bildet sich also in der hagelnden Wolke ein trichterförmiger Strudel von eiskalter Luft, gefrorenem Wasser und daneben noch flüssigem, welches schraubenförmig wirbelnd zur Erde niederbraust. Daher die nothwendige Bedingung, dass der eigentliche Hagel nur eine sehr geringe Ausdehnung hat und dass der mittelste Theil des Hagelwirbels die grössten Schlossen und die grösste Kälte hat."

Bei aller Anerkennung für die lebendige Darstellung, mit welcher

Mohr den Verlauf des Hagelwetters vor den Augen des Lesers vorüberführt, und für die geistreiche Weise, in welcher er durch seine Theorie den Hagel mit den ihn meist begleitenden elektrischen Erscheinungen des Gewitters zu verbinden weiss, kann ich doch nicht umhin, einige Bedenken gegen diese Theorie auszusprechen.

Wenn durch eine massenhafte Condensation von Wasserdampf an irgend einer Stelle der Atmosphäre eine namhafte Luftverdünnung entstanden ist, so ist nicht abzusehen, warum sich die Luft nicht von allen Seiten, warum sie vorzugsweise von oben her in das Vacuum hineinstürzen soll; im Gegentheil wird die verdünnte, durch die bei der Condensation des Wasserdampfes noch mehr ausgedehnte Luft in die Höhe steigen, während die dichtere Luft von unten und von den Seiten her in den verlassenen Raum der aufsteigenden eindringt.

Ein weiteres Bedenken gegen die Mohr'sche wie gegen die Schwaab'sche Theorie dürfte darauf sich gründen, dass die Wärmemenge, welche bei der Condensation des Wasserdampfes in der Atmosphäre frei wird, keineswegs eine so unbedeutende, ohne Weiteres zu vernachlässigende Grösse ist. Bei einer Temperatur von 20° C. kann 1 Kubikmeter Luft 17 Gramm Wasserdampf aufnehmen. Durch die Condensation von 17 Gramm Wasserdampf zu tropfbar flüssigem Wasser werden 17×540 also 9180 Wärmeeinheiten frei. Diese Wärme aber reicht hin, um die Temperatur von 1 Kubikmeter Luft von atmosphärischer Dichtigkeit (1293 Gramm) um 30° C. zu erhöhen. Die specifische Wärme der atmosphärischen Luft ist nämlich (die specifische Wärme des Wassers gleich 1 gesetzt) gleich 0,23; damit die obige Luftmasse um 1° erwärmt werde, sind also $1293 \times 0{,}23$ oder 298 Wärmeeinheiten nöthig, es werden also 9180 Wärmeeinheiten in derselben eine Temperaturerhöhung von $\frac{9180}{298}$ Graden hervorzubringen im Stande sein. Daraus scheint mir aber zu folgen, dass die Condensation des Wasserdampfes zu flüssigem Wasser und das Erstarren des Wassers zu Hagelkörnern nicht in einem Act rasch auf einander erfolgen können. Das durch Condensation der Dämpfe gebildete Wasser muss sich erst mit der Luft, in welcher es schwebt, allmälig abkühlen, ehe die Eisbildung erfolgen kann.

Sehen wir nun weiter, wie Mohr die Erscheinungen des Hagels und die des Gewitters mit einander verknüpft.

„Nothwendig aus der Theorie geht die schmale Breite des Hagelstriches hervor. Nur der innerste Theil des Hagelstrudels kommt zum Gefrieren. Findet das Durchdringen auf einer grösseren Ausdehnung gleichförmig Statt, so erreicht die Mitteltemperatur nicht den Gefrierpunkt. Ferner geht aus der Theorie hervor, dass das Hagelwetter nicht still stehen kann. Durch Abkühlung und Entwässerung der untersten Luftschichten hören die Bedingungen der Vacuumbildung und damit das Einsaugen kalter Luft auf. Tritt aber das Hagelwetter über neue warme und feuchte Luftschichten, so sind die Bedingungen wieder vorhanden,

und die Erscheinung kann, wenn sie fortrückt, unbestimmt lange dauern, sie kann aber nicht längere Zeit an einem Orte stehend verweilen. Noch niemals hat man einen Hagel gesehen, der nicht rasch vorüberzog und der nicht schmal war. Aus der Bewegung schöpft das Hagelwetter neue Kräfte zum Gehen. Das Gewitter ist die allgemeine Form der stürmischen Wasserverdichtung, von der der Hagel nur die einzelne ist, bei welcher die Temperatur bis zum Gefrieren kommt. Die Gewitterbildung kann nur in der Ruhe vor sich gehen; ein ausgebrochenes Gewitter kann nicht mehr stillstehen, sondern muss sich bewegen. Das Zusammenziehen des Gewitters findet an ruhigen, schwülen Tagen Statt. Der erste leichte Wolkenschleier verdichtet sich endlich zur vollkommen schwarzen undurchsichtigen Gewitterwolke. Treten sich die Wolkenbläschen so nahe, dass sie sich vereinigen und Tropfen bilden, die als Regen herunterfallen, so kommt die Vacuumbildung in die untersten wärmsten Theile der Luft und die Bewegung in der Wolke wird lebhafter. Die hineinstürzende obere kalte Luft erzeugt den Blitz durch Reibung, und es folgt ein reichlicher Regenerguss, welcher die Ursache des Blitzes und nicht seine Folge war. Sobald der Regen begonnen hat, wird die Ruhe der Gewitterwolke gestört. Nichts ist leichter beweglich, als was in der Luft schwebend schwimmt. Schon der Schatten der immer dichter werdenden Wolke veranlasst eine kleine Abkühlung und Raumverminderung der Luft, nach welcher Seite hin die Wolke sich leise bewegt. Durch den Regen wird dies reichlicher und damit wächst die Bewegung. Auch das Gewitter schöpft aus der Bewegung neue Kräfte dazu, so dass seine Entwickelung Anfangs sehr langsam, dann rascher, immer rascher und stürmischer vor sich geht. Ein Gewitter, dessen Zusammenziehung am Himmel Mohr 7 Stunden lang beobachtete, war nach dem ersten Blitze und Regenguss in einer halben Stunde bis zu ihm, und nach einer Stunde vollständig vorübergezogen. Ein Gewitter, dessen Bewegungsrichtung sich einmal entschieden hat, kann keine Ruhe mehr haben, es muss nach dieser Seite fortstürmen. Die Vacuumbildung kann nur mehr einseitig sein, nämlich an der Seite am stärksten, wo die Luft am feuchtesten und wärmsten ist, da, wo es noch nicht geregnet hat. Hinter dem Gewitter ist die Luft abgekühlt und zum grossen Theil ihres Wassers beraubt. Indem das Gewitter unter sich das Vacuum bildet und dann in dasselbe hineintritt, kann es ganze Länder in gerader Linie durchziehen. Das Gewitter wird nicht vom Sturm gebracht, es macht den Sturm und führt ihn mit sich. Vor und nach dem Gewitter ist Windstille. Die Gewitter kreuzen sich, vereinigen sich, weil sie in einer ruhigen Luft auf eigenen Füssen laufen. Wer mitten im Gewitter steht und die herabstürzende Luft- und Wassertrombe empfängt, erkennt ihre senkrechte Richtung an den Erscheinungen. Die Pappeln beugen ihre Wipfel zur Erde, die Wimpel der Schiffe streben stramm am Flaggenstock hernieder, belaubte Bäume erscheinen oben platt gedrückt, dürre Blätter fliegen unter dem Luftstrom vom Boden auf; daher die Abküh-

lung durch die Gewitter. Die obere kalte Luft wird durch das Gewitter in die untere warme hineingetrieben und damit vermengt. Die Mitteltemperatur nach dem Durchpeitschen muss an der Erde gesunken, in den Wolken gestiegen sein. Die Kälte, die wir spüren, ist die der höheren Luftschichten. Die elektrischen Erscheinungen sind zweiten Ranges, blosse Folgen der Reibung der Wolken gegen die hineinstürzende Luft, und in Bedeutung unendlich klein gegen die sonstigen mechanischen Effecte des Gewitters. Sie erscheinen dem Menschen fürchterlicher wegen ihres Eindrucks auf die Sinne."

Wenn auch die Vogel-Nöllner'sche Ansicht von der Hagelbildung noch keineswegs eine vollendete Theorie genannt werden kann, indem sie über manche die Hagelwetter begleitende Erscheinungen keine Rechenschaft giebt, so glaube ich doch, dass sie eine Grundlage bietet, welche beim Aufbau einer Hageltheorie nicht unberücksichtigt bleiben darf.

Im zweiten Bande meines Lehrbuchs der Physik (7. Auflage, S. 687) ist angeführt worden, dass Dufour in Lausanne die Beobachtung gemacht hat, die Wasserkugeln, welche in einer entsprechenden Mischung von Chloroform und Mandelöl schweben, auf — 8 bis — 10°, kleinere Kügelchen selbst auf — 20° C. erkaltet werden können, ohne zu gefrieren. Diese Beobachtung führte Dufour auf die Idee, dass auch der in der Luft schwebende Bläschendampf oder die kleinen Wasserkügelchen, welche in der Luft schwebend die Wolken bilden, sich in einem ähnlichen Zustande befinden könnten und dass hierin der Grund zur Erklärung des Hagels zu suchen sei. (Archives des sciences de la bibliothèque universelle de Genève, Avril 1861.) Im Maiheft derselben Zeitschrift aber verzichtet Dufour auf die Priorität dieses Gedankens zu Gunsten De la Rive's, welcher in dem im Jahre 1856 erschienenen 3. Bande seines Traité d'électricité pag. 178 die Entstehung des Hagels auf denselben Entstehungsgrund zurückführt.

Wenn auch, wie wohl nicht bezweifelt werden kann, Dufour sowohl wie De la Rive die von Vogel und Nöllner gegebene Erklärung der Hagelbildung vollkommen unbekannt geblieben ist, wenn sie auch vollkommen selbstständig diesen Erklärungsgrund aufgefunden haben, so muss ich die Priorität des Gedankens doch für die Herren Vogel und Nöllner in Anspruch nehmen, welche ihn 9 Jahre früher ausgesprochen haben. Es ist dies ein in der Geschichte der Wissenschaft öfters vorkommender Fall, dass verschiedene Gelehrte vollkommen unabhängig von einander und zwar oft auf ganz verschiedenen Wegen zur Auffindung derselben Wahrheit gelangen.

VIERTES BUCH.

DIE

ELEKTRISCHEN UND MAGNETISCHEN ERSCHEINUNGEN

AUF DER

ERDOBERFLÄCHE.

Erstes Capitel.

Atmosphärische Elektricität.

Entdeckung der atmosphärischen Elektricität. Otto von Guerike, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erste, welcher eine elektrische Lichterscheinung beobachtete. Als später, 1708, Wall einem grossen geriebenen Harzcylinder kräftige elektrische Funken entlockte, kam er alsbald auf den glücklichen Gedanken, denselben mit dem Blitze zu vergleichen. „Dieser Funken und dieses Knacken,“ sagt Wall in seiner Abhandlung (Philosoph. Transactions), „scheinen gewissermaassen den Blitz und den Donner darzustellen.“ Die Analogie war überraschend; um aber ihre Wahrheit darzuthun, um in einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze von einer der grossartigsten Naturerscheinungen zu erkennen, bedurfte es directer experimenteller Beweise. 239

Die Aehnlichkeit zwischen dem elektrischen Funken und dem Blitze trat noch deutlicher hervor, als die Entdeckung der Leidner Flasche und der elektrischen Batterie gemacht worden war; Franklin war jedoch der Erste, welcher daran dachte, das von ihm aufgefundene Ausströmen oder Einsaugen der Elektricität durch Spitzen zu benutzen, um unmittelbar die elektrische Natur der Gewitterwolken nachzuweisen und sich durch solche Spitzen vor den Entladungen derselben zu schützen. Da er aus Mangel an Hülfsmitteln die entsprechenden Versuche nicht selbst anstellen konnte, so munterte er die Physiker Europas auf, dieselben zu verfolgen. Der Erste, welcher dieser Aufforderung Folge leistete, war Dalibard, ein französischer Physiker, welcher zu Marly-la-Ville eine Hütte bauen liess, über welcher eine am unteren Ende isolirte Eisenstange von 40 Fuss Länge aufgerichtet wurde. Als am 10. Mai 1752 eine Gewitterwolke über die Stange hinwegzog, liessen sich aus dem isolirten Ende derselben Funken ziehen, und überhaupt zeigte es alle Erscheinungen, welche man am Conductor der Elektrisirmaschine beobachtet.

Unterdessen hatte aber auch Franklin selbst seine Idee weiter verfolgt. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals zu Philadelphia aufgeführt werden sollte; endlich aber, des Wartens müde, nahm er zu einem anderen Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben musste. Da es ja nur darauf ankam, einen Leiter hoch genug in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, dass ein Drache, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könnte, wie der höchste Thurm. Er verfertigte also einen Drachen, zu welchem er statt des Papiers, welches vom Regen aufgeweicht und dann leicht vom Winde zerrissen worden wäre, ein grosses seidenes Tuch verwendete. Am oberen Ende des verticalen Stabes im Drachen befestigte er eine eiserne Spitze, welche mit der Schnur in leitende Verbindung gebracht wurde, an welcher man die ganze Vorrichtung steigen liess.

Mit diesem Drachen begab sich Franklin, nur von seinem Sohne begleitet, ins Freie, als ein Gewitter aufstieg. Eine Wolke, welche viel versprach, zog über dem Drachen hin, ohne irgend eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, und es zeigte sich kein Funken, kein Zeichen von Elektricität, ohne Zweifel, weil die Schnur ein zu schlechter Leiter der Elektricität war; endlich, nachdem sie durch den Regen feucht und in Folge dessen besser leitend geworden war, fingen die Fasern am unteren isolirten Ende der Schnur an, sich aufzustellen, und es liess sich ein schwaches Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, welchem bald mehrere folgten.

Franklin hatte diesen Versuch im Juni 1752 angestellt. Durch Franklin's ersten Gedanken geleitet, war auch De Romas zu Nerac auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden.

Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er mit seinem Drachen im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er den glücklichen Gedanken hatte, in die Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht einflechten zu lassen. (Mém. des Savans étrangers, Tome II.) Im Jahre 1757 wiederholte De Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Grösse. „Man denke sich,“ sagt er, „Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuss Länge und 1 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches eben so stark, ja stärker ist, als ein Pistolenschuss. In weniger als einer Stunde erhielt ich wenigstens 30 solcher Funken, tausend andere nicht zu zählen, welche 7 und weniger Fuss lang waren.“ (Mém. des Savans étrangers, Tome VI.)

Um das untere Ende der leitenden Schnur gehörig zu isoliren, band De Romas eine seidene Schnur von 8 bis 10 Fuss Länge daran; statt die Funken, wie es Franklin gethan hatte und was ihm leicht hätte gefährlich werden können, mit der Hand auszuziehen, wandte er zu diesem Zweck einen eigenen Funkenzieher, d. h. einen metallischen Leiter an, welcher mit dem Boden in leitender Verbindung stand. Trotz aller

dieser Vorsichtsmaassregeln aber wurde er einmal durch einen Schlag, der ihn selbst traf, zu Boden geworfen.

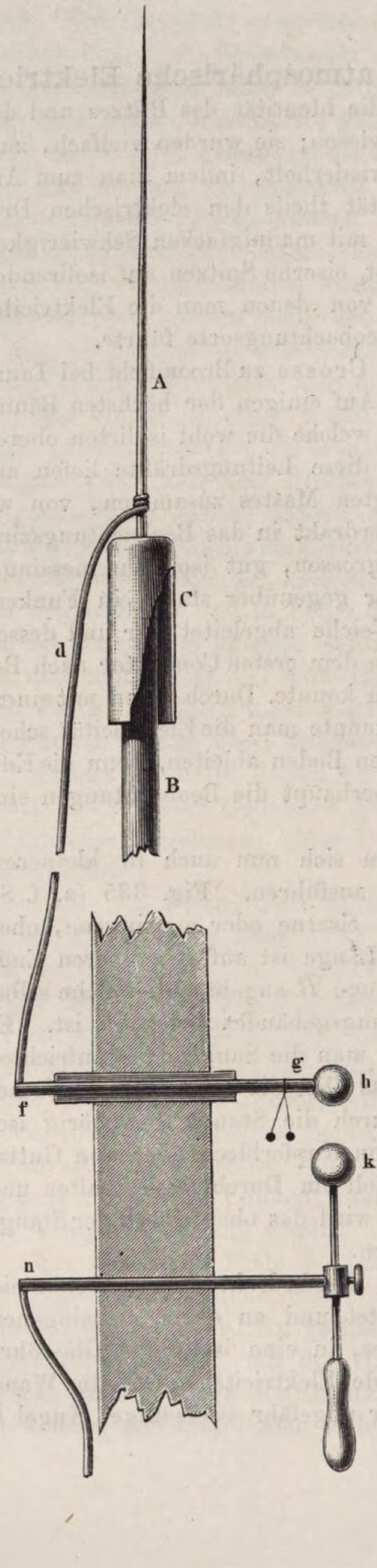
Feste Sammelapparate für atmosphärische Elektricität. 240 Durch diese Versuche war nun die Identität des Blitzes und der elektrischen Funken vollständig nachgewiesen; sie wurden vielfach, zum Theil in höchst unvorsichtiger Weise wiederholt, indem man zum Ansammeln der atmosphärischen Elektricität theils den elektrischen Drachen oder, weil seine Anwendung doch mit mannigfachen Schwierigkeiten und Umständlichkeiten verbunden ist, eiserne Spitzen auf isolirenden hölzernen Stangen befestigt anwandte, von denen man die Elektricität durch isolirte Leitungsdrähte bis zum Beobachtungsorte führte.

Im grossartigsten Maassstabe führte Crosse zu Broomfield bei Taunton einen solchen Sammelapparat aus. Auf einigen der höchsten Bäume seines Parkes wurden Stangen befestigt, welche die wohl isolirten oberen Enden der Leitungsdrähte trugen; alle diese Leitungsdrähte liefen auf der Spitze eines in dem Boden befestigten Mastes zusammen, von wo ein ebenfalls wohl isolirter starker Kupferdraht in das Beobachtungszimmer hineingeleitet war, der in einem grossen, gut isolirten messingenen Conductor endete; diesem Conductor gegenüber stand ein Funkenzieher, welcher zu einem benachbarten Teiche abgeleitet war und dessen messingene Kugel mittelst einer Schraube dem ersten Conductor nach Belieben näher oder ferner gebracht werden konnte. Durch einen mit einem gläsernen Handgriffe versehenen Hebel konnte man die Elektricität schon ausserhalb des Beobachtungsraumes in den Boden ableiten, wenn die Entladungen zu stark wurden oder wenn überhaupt die Beobachtungen eingestellt werden sollten.

Solche feste Sammelapparate lassen sich nun auch in kleinerem Maassstabe und mit geringeren Kosten ausführen. Fig. 335 (a. f. S.) stellt eine solche Vorrichtung dar; eine eiserne oder messingene, oben zugespitzte Stange A von 2 bis 3 Fuss Länge ist auf dem oberen Ende einer 20 bis 30 Fuss hohen hölzernen Stange B angebracht, welche selbst auf dem höchsten Gipfel des Beobachtungsgebäudes befestigt ist. Es ist gut, wenn das Gebäude, auf welchem man die Saugspitzen aufrichtet, möglichst frei steht oder wenigstens etwas über die benachbarten Häuser hervorragt. Damit die Saugspitze A durch die Stange B gehörig isolirt sei, ist dieselbe mit einem Hut C von Kupferblech oder von Guttapercha versehen, welcher ungefähr 3 Zoll im Durchmesser halten und 1 Fuss lang sein mag; durch diesen Hut wird das obere Ende der Stange B selbst bei Regenwetter trocken erhalten.

Von der Saugspitze A ist nun ein Kupferdraht d (am besten ein mit Guttapercha überzogener) herabgeleitet und an einem messingenen Stäbchen fg (Fig. 335) befestigt, welches, in eine isolirende Glasröhre eingekittet, die von oben herabkommende Elektricität durch die Wand des Beobachtungszimmers hindurch zu der ungefähr zweizölligen Kugel h

Fig. 335.



führt. Der besseren Isolirung wegen kann auch die Glasröhre wenigstens an ihrem äusseren Ende durch eine Kappe von Guttapercha verschlossen sein. Dieser Kugel *h* gegenüber, welche hier die Rolle des ersten Conductors spielt, befindet sich eine zweite messingene Kugel *k*, welche als Funkenzieher dienend zum Boden abgeleitet ist, wie man in der Figur sehen kann. Diese zweite Kugel kann nach Belieben höher oder tiefer gestellt und so ihr Abstand von *h* regulirt werden. Um den Apparat ausser Wirksamkeit zu setzen, hat man nur zwischen *f* und *n* auf irgend eine zweckmässige Weise eine leitende Verbindung herzustellen.

Wenn die Luftelektricität einen gewissen Grad von Stärke erreicht hat, so divergiren die bei *g* angehängten elektrischen Pendel; wird sie noch stärker, so schlagen zwischen *h* und *k* Funken über, und man kann alsdann an der Kugel *h* eine Leidner Flasche oder eine ganze Batterie laden, wie an dem Conductor einer Elektrisirmaschine.

241 **Beobachtung schwacher Luftelektricität.** Es ist in den vorigen Paragraphen nur von der Elektricität der Gewitterwolken und von den elektrischen Erscheinungen die Rede gewesen, welche man an dem Conductor der Sammelapparate während eines Gewitters beobachtet. Bringt man aber mit dem Sammelapparate hinlänglich empfindliche Elektrometer in Verbindung, so zeigen diese fast immer, selbst bei ganz heiterem Himmel, bald mehr bald weniger starke elektrische Ladungen.

Volta wandte zur Messung der atmosphärischen Elektricität das von

ihm construirte Strohhalmelektrometer an, welches zwar weniger empfindlich als das Goldblattelektrometer, aber mit einem Gradbogen versehen mehr für Messungen geeignet ist.

Wird die Ladung eines solchen Elektrometers so stark, dass die Pendel über 30° divergiren, so strömt die Elektricität leicht aus; zur Messung stärkerer Elektricität ist deshalb ein zweites ähnlich construirtes Elektrometer nöthig, dessen Pendel statt aus Strohhalmen aus dünnen Holzstäbchen bestehen. Volta construirte ein solches, welches gerade 1° Divergenz gab, während bei gleicher Ladung sein Strohhalmelektrometer bis zu 5° divergirte. Eine Divergenz von 25° am Holzpendel-Elektrometer entsprach also 125 Graden des Strohhalm-Elektrometers.

Später wurden auch das Bohnenberger'sche Säulenelektroskop und die Coulomb'sche Drehwage zur Untersuchung der Luftelektricität angewendet, in neuerer Zeit dient aber zu diesem Zwecke vorzugsweise das Dellmann'sche Elektrometer und einige andere nach dem Princip der Drehwage construirte Apparate. In Betreff der näheren Beschreibung dieser Instrumente, ihrer Anwendung und Graduirung, muss ich auf die entsprechenden Aufsätze von Romershausen, Dellmann und Lamont verweisen, welche sich in Poggendorff's Annalen und zwar in den Bänden LXIX, Seite 71, LXXXVIII, Seite 571, LXXXVI, Seite 524, LXXXIX, Seite 258, LXXXV, Seite 494, und in Lamont's „Beschreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate, München 1851," Seite 53, finden.

Statt das Elektrometer unmittelbar mit der Saugvorrichtung in Verbindung zu bringen, verfuhr Volta öfters auch so, dass er eine kleine dünnglasige Leidner Flasche von 10 bis 12 Quadratzoll äusserer Belegung mit einer Saugvorrichtung in Verbindung brachte und dann die Ladung der kleinen Flasche an einem Elektrometer prüfte. Fig. 336 (a. f. S.) erläutert das ganze Verfahren, welches Volta anwandte, um das Fläschlein im Freien durch die Luftelektricität zu laden. Der Beobachter hält dasselbe in der rechten Hand, in der Linken aber einen Spazierstock, auf welchen mittelst einer Hülse von Messingblech ein Glasstab aufgesetzt wird; auf diesen Glasstab wird dann wieder eine messingene Kappe aufgesetzt, in welche ein in eine Spitze auslaufender Stahldraht aufgeschraubt ist. Auf das obere Ende dieses stählernen Leiters bei G wird nun mit Hülfe von dünnem Eisendraht ein Schwefelfaden aufgebunden und ferner bei E ein dünner Metalldraht H befestigt, welcher unten mit einer Schleife endet. Das Messingstäbchen, welches durch den Hals der Flasche gehend zur inneren Belegung führt, ist oben statt mit einer Kugel mit einem Haken versehen, welcher in jene Schleife eingehängt wird.

Die Flamme des an seinem obersten Ende angezündeten Schwefelfadens wirkt ganz wie feine Spitzen, sie saugt die Luftelektricität gleich-

sam ein, welche dann durch den Draht *H* der kleinen Leidner Flasche zugeführt wird.

Mit der in Fig. 336 abgebildeten Saugvorrichtung lässt sich natürlich das Strohhalmelektrometer auch unmittelbar laden, wenn man dasselbe statt der Flasche in der rechten Hand haltend, in die Schleife des Drahtes *H* einhängt. Zu diesem Zwecke muss dann das isolirte Messingstäbchen, an welchem die Strohhalmpendel hängen, oben hakenförmig gebogen sein.

Fig. 336.



Um im Zimmer die Luftelektricität zu untersuchen, brauchte man nur den Stock der eben beschriebenen Vorrichtung mit seiner Stahlspitze und dem brennenden Schwefelfaden zum geöffneten Fenster hinaus zu halten und im Uebrigen zu verfahren wie oben erwähnt wurde. Ein solches Verfahren ist aber mühsam.

Um diese Unbequemlichkeit zu vermeiden, steckte Volta durch das geöffnete Fenster eine etwa 12 Fuss lange hölzerne Stange hinaus, deren unteres Ende durch isolirende Träger gehalten wurde und an deren oberem Ende eine kleine Laterne von Blech befestigt war, in welcher eine kleine Kerze brannte. Von dieser Laterne ist dann ein Metalldraht gehörig isolirt durchs Fenster herein geführt, mit dessen unterem Ende man das Elektrometer in Verbindung bringen kann.

Fig. 337 zeigt eine von Romershausen construirte Vorrichtung zum Aufsaugen der Luftelektricität. *D* ist das Dach des Hauses, *F* das Fenster des Beobachtungszimmers. Die ungefähr 10 bis 12 Fuss lange Stange von lackirtem Tannenholz steckt unten bei *m* in einem eisernen Schuh und trägt an ihrem oberen Ende eine Messinghülse *i*, in welche ein mit Schellack überzogener, $1^1/_2$ Fuss langer Glasstab eingekittet ist. Dieser trägt dann die Saugvorrichtung *gn*.

Zu mehrerer Deutlichkeit ist diese Saugvorrichtung in Fig. 338 in grösserem Maassstabe dargestellt. Im Inneren eines 5 Zoll im Durch-

messer haltenden flachen Kupferringes sind die kupfernen, galvanisch vergoldeten und nach oben fein zugespitzten Auffangsdrähte *dd* ange-

Fig. 337.

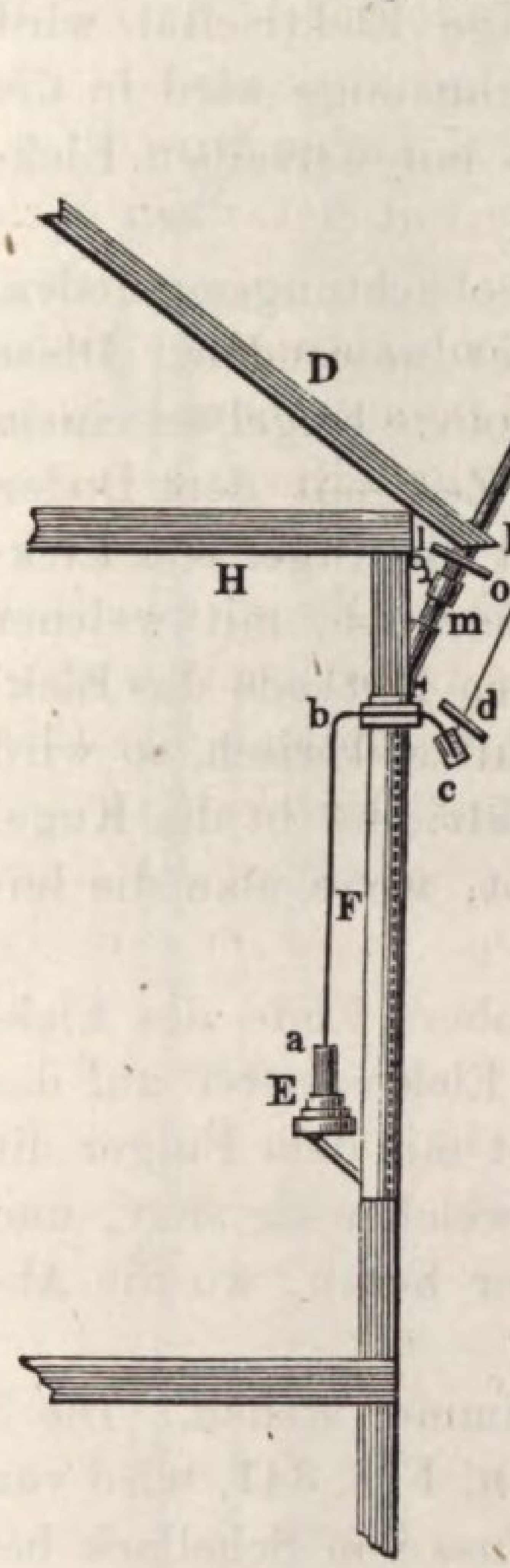
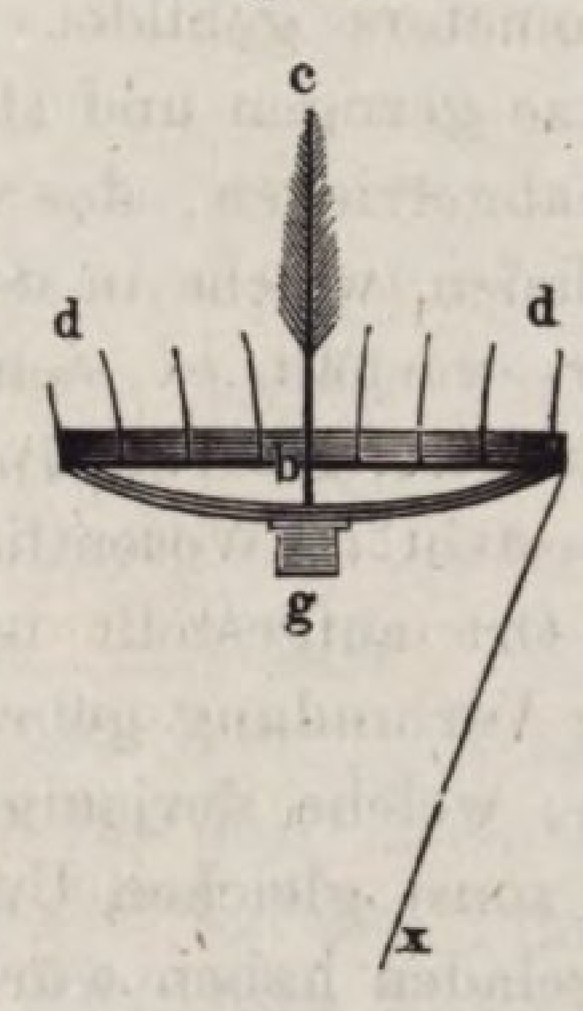


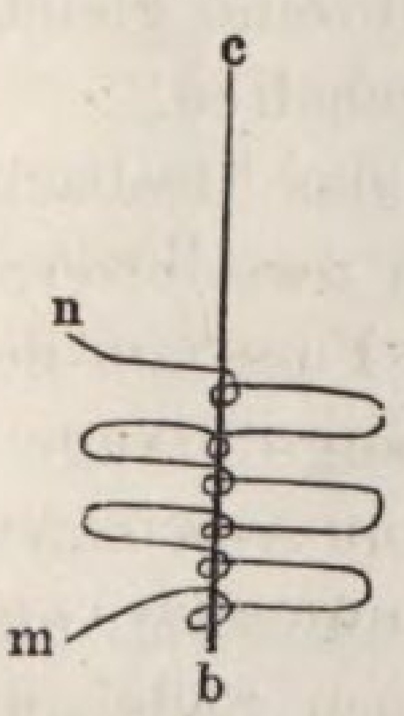
Fig. 338.



löthet. Ein im Durchmesser dieses Ringes angebrachter Kupferbügel trägt unterhalb die Hülse *g* zur Befestigung auf der Glasstange *h* und oberhalb ist eine höhere Drahtspitze *bc* eingelöthet.

Dieser oben fein zugespitzte und vergoldete, etwa 1‴ dicke Kupferdraht ist ringsum mit feinen haarförmigen Platinspitzen umgeben, und wird am leichtesten auf folgende Weise verfertigt: Die untere Hälfte des Drahtes wird mit Zinnloth überzogen und alsdann, wie Fig. 339 verdeutlicht, mit dem feinsten Platindraht umwunden und die Windungen

Fig. 339.



über einer Spirituslampe angeschmolzen; die Schleifen werden alsdann aufgeschnitten und die Drahtspitzen zu einem Busch geordnet, wie es die vorige Figur zeigt.

Der kupferne Leitungsdraht *de*, Fig. 337, wird bei *e* an den Kupferring angelöthet; bei *d* erhält derselbe ein kleines Dach von Blech, welches den Regen abführt (ein gleiches ist bei *o* an der Stange angebracht). Bei *c* wird der von oben kommende Leitungsdraht mit dem in das Zimmer führenden am bequemsten mit einer Klemmschraube verbunden; bei *b* geht dieser letztere Draht durch eine Glasröhre, in welche er mit Schellack eingekittet ist, vermöge deren er gehörig isolirt durch ein Loch des Fensterrahmens in das Zimmer eintritt. Der Draht *ba* geht dann herab zu dem seitwärts vom Fenster aufgestellten und vor der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützten Elektrometer *E*.

Nehmen wir nun an, dass die Luft über der Spitze des Saugapparates wirklich elektrisch sei, so wird ihre Elektricität vertheilend auf das ganze isolirte System wirken, dessen unteres Ende durch die Pendel des Elektrometers gebildet wird; die ungleichnamige Elektricität wird in die Spitze gezogen und strömt hier aus, die gleichnamige wird in die Pendel hinabgetrieben, das Elektrometer wird also mit derselben Elektricität geladen, welche in der Luft vorhanden ist.

Anders verhält es sich bei den neueren Beobachtungsmethoden, welche Lamont, Dellmann, Peltier und Quetelet anwenden. Diese Methode besteht im Wesentlichen darin, dass eine isolirte Kugel an einem erhabenen Ort aufgestellt und daselbst für kurze Zeit mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird; dabei nimmt die Kugel eine Elektricität an, welche derjenigen gerade entgegengesetzt ist, mit welcher sich unter sonst gleichen Umständen nach der obigen Methode das Elektrometer geladen haben würde. Ist nämlich die Luft elektrisch, so wird sie durch Vertheilung die ihr entgegengesetzte Elektricität in die Kugel ziehen, welche mit dieser Elektricität geladen bleibt, wenn man die leitende Verbindung mit dem Boden wieder aufhebt.

Bei Lamont bildet die fragliche Kugel das obere Ende des Elektrometers. Behufs einer Beobachtung trägt er das Elektrometer auf das flache Dach der Sternwarte, berührt auf kurze Zeit mit dem Finger die Kugel oder noch besser die metallene Röhre, auf welcher sie sitzt, und trägt dann das Elektrometer wieder in das Zimmer herab, wo die Ablesung derselben vorgenommen wird.

Dellmann lässt das Elektrometer stets im Zimmer stehen. Die 3 bis 6 Zoll im Durchmesser haltende Ladungskugel *n*, Fig. 341, wird von einem Metallstäbchen getragen, welches in einem Fuss von Schellack befestigt ist. Eine Kautschukplatte bildet die Basis dieses Fusses, welcher mit einem Kautschukring umgeben in die obere Hälfte der messingenen ungefähr 10 Zoll langen Hülse *l* eingesetzt wird, wie Fig. 340 in grösserem Maassstabe zeigt.

Am oberen Ende dieser Hülse wird das Stäbchen durch eine gleichfalls mit einem Kautschukringe umgebene Schellackplatte gehalten.

An der Giebelwand des Gebäudes, in welchem sich das Beobachtungszimmer befindet, sind in 2 Meter Abstand von einander zwei eiserne Stangen *a* und *b*, Fig. 340, eingelassen, welche ungefähr 1 Fuss von der Wand entfernt Ringe tragen, durch welche die 22 Fuss lange Stange *s* von Tannenholz hindurchgeht. Auf diese Stange wird nun von einem Fenster des Giebels aus die Hülse *l* mit der Sammelkugel aufgesetzt, und dann die Stange mittelst eines um eine Rolle geschlungenen Seils aufgezogen, bis der eiserne Schuh *d*, auf welchem die Stange *s* aufsitzt, an den Ring bei *a* anstösst. In dieser Stellung befestigt, ragt nun die Sammelkugel weit über den Giebel des Hauses hinweg. Um sie für kurze Zeit mit dem Boden in leitende Verbindung zu bringen, ist an der Stange ein metallener Hebel angebracht, von welchem ein Messingdraht herab-

hängt; durch Anziehen desselben wird der metallene Hebel so weit gedreht, dass der Messingbacken k die Kugel n berührt. Nachdem die

Fig. 341.

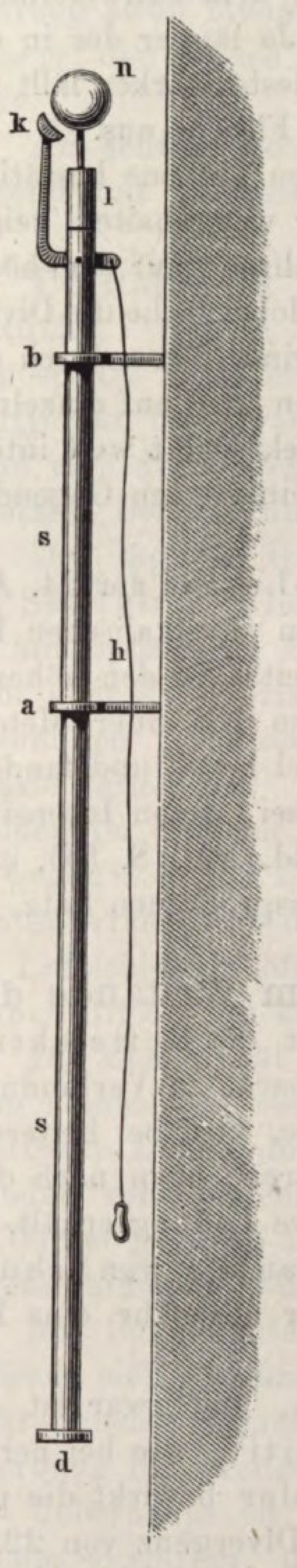
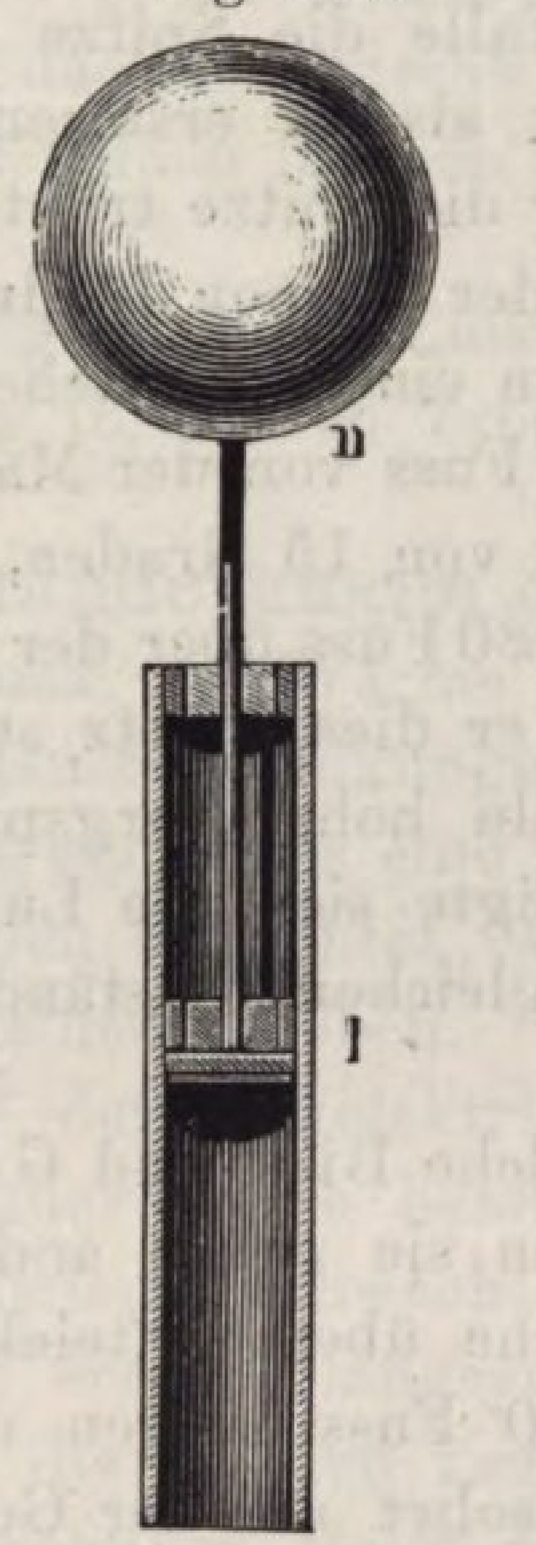


Fig 340.



Berührung kurze Zeit gedauert hat und die Kugel geladen ist, lässt man den Draht h wieder los, der Hebel fällt durch sein eigenes Gewicht in seine vorige Stellung zurück und nun wird die Stange wieder niedergelassen, die Hülse mit der Sammelkugel abgehoben und in das Zimmer zurückgebracht. Hier wird sie nun neben dem Elektrometer auf den Tisch gestellt, mit demselben durch einen ungefähr 1‴ dicken und 1′ langen sorgfältig isolirten Messingdraht in Verbindung gebracht und endlich der Ausschlag des Elektrometers abgelesen.

Atmosphärische Elektricität an verschiedenen Localitäten. 242 Wenn man nach irgend einer der im vorigen Paragraphen angegebenen Methoden verfährt, so erhält man fast immer mehr oder weniger starke elektrische Ladungen, vorausgesetzt, dass sich keinerlei feste Körper gerade über den Saugspitzen oder der Sammelkugel befinden. In einem Zimmer, unter dem höchsten Gewölbe, im Inneren eines Waldes oder überhaupt unter Bäumen wird man nie eine Spur von Elektricität finden. Ist aber das Zenith wirklich frei, so zeigt sich unter sonst gleichen Umständen die atmosphärische Elektricität um so stärker, je weniger hohe Gegenstände sich neben den Saugspitzen oder den Ladungskugeln erheben; in der Ebene, auf freiem Felde erhält man also stärkere Ladungen als in der Sohle eines tief eingeschnittenen Thales oder auf der Strasse zwischen Häusern.

Man hat deshalb die Sammelapparate so aufzustellen, dass sie möglichst frei stehen und dass sich in ihrer Nähe keine höheren Gegenstände befinden.

Die Intensität der Luftelektricität nimmt zu mit der Erhebung in der Atmosphäre. Wenn man das Strohhalmelektrometer unmittelbar mit einer Stahlspitze versieht, an derselben einen brennenden Schwefelfaden be-

festigt, und dann den Apparat mit der einen Hand in die Luft hebt, so wird die Divergenz der Pendel nur halb so gross, als wenn man den Versuch in der Fig. 336 angedeuteten Weise anstellt. Es rührt dies nur daher, dass sich im letzteren Falle die Spitze mit dem Schwefelfaden höher über dem Boden befindet als im ersteren. Je länger der in der Hand gehaltene Stab ist, welcher die Spitze trägt, desto stärker fällt die Ladung des Elektrometers oder der kleinen Leidner Flasche aus.

Schübler fand dies auch an einem freistehenden Thurme bestätigt; 30 Fuss über dem Boden und 5 Fuss von der Mauer weggehalten, zeigte das Elektrometer eine Divergenz von 15 Graden, während auf dem höchsten freien Punkte des Thurmes 180 Fuss über der Erdoberfläche die Divergenz auf 64^0 stieg; ferner fand er dies Gesetz auf einer Reise durch die Alpen bestätigt. Auf den Gipfeln hoher Bergspitzen und auf einzelnen isolirten schroffen Felsspitzen zeigte sich die Luftelektricität weit intensiver, als man sie unter sonst gleichen Umständen in ebenen Gegenden beobachtet.

Während der Luftfahrt, welche Biot und Gay-Lussac am 24. August 1804 unternahmen, machten sie neben anderen physikalischen Beobachtungen auch einige Versuche über Luftelektricität in den höheren Regionen. Sie liessen einen 240 Fuss langen unten mit einer Metallkugel beschwerten Metalldraht isolirt aus der Gondel herab und fanden, dass er an seinem oberen Ende mit — E geladen sei, deren Intensität bei fernerem Steigen zunahm (Gilbert's Annalen Bd. XX, S. 15), und somit bestätigen auch diese Versuche den oben ausgesprochenen Satz.

243 **Die Luftelektricität bei verschiedenem Zustande des Himmels.** Bei heiterem unbewölktem Himmel ist die Luftelektricität stets positiv; d. h. ein mit einem Saugapparat in Verbindung gebrachtes Elektrometer, wie es z. B. Volta anwandte, wird bei heiterem Himmel stets mit positiver Elektricität geladen, während man nach den Methoden von Dellmann und Lamont eine negative Ladung erhält.

Bei heiterem Wetter brachte die Luftelektricität an dem von Schübler in Stuttgart angewandten Strohhalmelektrometer ungefähr eine Divergenz von 12 Graden hervor.

Sehr stark ist die Luftelektricität bei Nebeln, und zwar ist sie während derselben bis auf wenige Ausnahmen positiv, wie bei heiterem Himmel. Nach den Beobachtungen von Schübler bewirkt die positive Elektricität bei Nebeln im Durchschnitt eine Divergenz von $22{,}7^0$ seines Elektrometers, sie ist also nahe doppelt so gross, als bei heiterem Himmel. Im Allgemeinen wächst die Stärke der atmosphärischen Elektricität mit der Dichtigkeit der Nebel.

Auch der Niederschlag des Thaues ist stets von einer starken Elektricität begleitet.

Fast alle atmosphärischen Niederschläge, wie Regen, Schnee, Hagel, zeigen sich bald mehr bald weniger elektrisch, und zwar ist ihre Elek-

tricität in der Regel weit stärker als die, welche man bei heiterem Himmel sieht. Es zeigt sich hier auch nicht mehr bloss positive Elektricität, sondern abwechselnd positive und negative. So fand Schübler während zwölf Monaten das meteorische Wasser 71mal positiv und 69mal negativ; der Schnee war jedoch hierbei 24mal positiv und nur 6mal negativ.

Am schwächsten zeigt sich die Elektricität des Regens, wenn er anhaltend und gleichmässig in kleinen Tröpfchen niederfällt.

Periodische Veränderungen der atmosphärischen Elektricität. Wie der Druck, die Wärme und der Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre fortwährenden Schwankungen unterliegen, so auch die Luftelektricität, und zwar ist auch hier eine Periodicität nicht zu verkennen, wenn man die Mittelzahlen betrachtet, welche sich aus längere Zeit fortgesetzten Beobachtungsreihen ergeben. 244

Der tägliche Gang der Luftelektricität bei heiterem Wetter wird von Schübler in folgender Weise beschrieben: Bei Sonnenaufgang ist die atmosphärische Elektricität schwach; sie fängt, so wie sich die Sonne mehr über den Horizont erhebt, langsam zu steigen an, während sich gewöhnlich gleichzeitig die in den tieferen Luftschichten schwebenden Dünste vermehren. Gewöhnlich steigt die Elektricität unter diesen Umständen im Sommer bis gegen 6 und 7 Uhr, im Frühling und Herbst bis gegen 8 und 9 Uhr, im Winter bis gegen 10 und 11 Uhr; die Elektricität erreicht um diese Zeit ihr Maximum. Gleichzeitig sind die unteren Luftschichten oft sehr dunstig, der Thaupunkt liegt höher als bei Sonnenaufgang; in kälterer Jahreszeit tritt oft wirklicher Nebel ein.

Die Elektricität bleibt gewöhnlich nur kurze Zeit auf diesem Maximum stehen; sie vermindert sich wieder, während die dem Auge etwa sichtbaren Dünste in den unteren Luftschichten verschwinden. Einige Stunden vor Sonnenuntergang, im Sommer gegen 4 bis 5 und 6 Uhr, im Winter gegen 3 Uhr, erreicht die atmosphärische Elektricität wieder ein Minimum, in welchem sie etwas länger verharrt als im Maximum.

Mit Sonnenuntergang nimmt die Luftelektricität wieder rasch zu, während sich gleichzeitig die Dünste in den unteren Schichten der Atmosphäre wieder vermehren, und erreicht $1^1/_2$ bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang ihr zweites Maximum.

Ueberhaupt ist die positive Elektricität in den unteren Luftschichten um so stärker, in je grösserer Menge sich Wasserdünste dem Auge sichtbar niederschlagen; am stärksten ist sie daher in der kalten Jahreszeit, wo Dünste und Nebel oft lange die unteren Luftschichten erfüllen, am schwächsten in den heisseren Sommermonaten, wo dies weit seltener der Fall ist, und wo die unteren Luftschichten gewöhnlich eine grössere Klarheit und Durchsichtigkeit besitzen.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate zweijähriger Beobachtungen, welche Schübler bei heiterem oder nur wenig bewölktem

Himmel anstellte. Er sammelte die Elektricität in einer kleinen Leidner Flasche und maass dieselbe an einem mit einem Condensator versehenen Strohhalmelektrometer.

In den Monaten:	Mittlere Stärke der Elektricität.				Mittlere Stärke.
	1tes Min. kurz vor ⊙Aufgang.	1tes Max. einige Stunden nach ⊙Aufgang.	2tes Min. einige Stunden vor ⊙Untergang.	2tes Max. einige Stunden nach ⊙Untergang.	
Januar . .	14,7	33,0	19,1	51,8	24,4
Februar . .	7,5	25,5	16,3	24,5	18,5
März . . .	5,3	13,0	6,4	14,0	9,7
April . . .	4,0	14,7	4,7	7,6	7,8
Mai	4,1	13,0	4,3	10,3	7,9
Juni	4,6	12,8	3,9	12,0	8,3
Juli	4,8	13,5	4,5	14,4	9,5
August . .	5,8	15,9	5,4	16,1	10,8
September .	5,5	15,4	5,0	15,6	10,4
October . .	7,2	15,3	6,3	19,7	12,3
November .	5,5	14,4	8,2	17,4	11,8
December .	12,4	18,8	12,8	20,7	16,3
Mittel . . .	6,9	16,9	8,1	17,0	12,2

Durch lebhafte Winde, welche eine periodische Ansammlung von Dünsten verhindern, werden die täglichen Perioden der Luftelektricität sehr verwischt.

Die Elektricität der Wolken und der aus ihnen erfolgenden wässerigen Niederschläge zeigt einen merkwürdigen Gegensatz zur Elektricität der unteren Luftschichten.

Der Regen ist nämlich in den Sommermonaten ungleich stärker elektrisch, als in der kälteren Jahreszeit. Die Elektricität des Regens im Monat Juli ist im Durchschnitt nahe 10mal so stark als die Elektricität der Niederschläge im Januar.

Diese Resultate, welche Schübler und andere ältere Physiker aus ihren Beobachtungen gezogen haben, werden in ihren wesentlichen Punkten auch durch die neueren Beobachtungen bestätigt, von denen sehr zu wünschen ist, dass sie nicht allein an den Orten fortgesetzt werden, an welchen sie bereits begonnen wurden, sondern dass auch nach dem glei-

chen Plane mit vergleichbaren Instrumenten auch an anderen Orten fortlaufende Beobachtungen über diesen für die Meteorologie so wichtigen Gegenstand angestellt werden.

Elektrische Erscheinungen auf der Cheopspyramide. 245
In dem CIX. Bande von Poggendorff's Annalen beschreibt Siemens ungewöhnlich starke elektrische Erscheinungen, welche er auf der Cheopspyramide bei Cairo während des Wehens des Chamsin beobachtet hat.

Am 14. April 1859 verliess er Morgens früh Cairo bei heiterem Himmel; nur eine leichte blassrothe Färbung am südwestlichen Horizont beunruhigte seinen Eseltreiber. Als die Gesellschaft gegen 10 Uhr Morgens den Gipfel der Pyramide erreicht hatte, war die Trübung des südwestlichen Horizonts in eine fast bis zum Zenith ausgedehnte farblose Trübung übergegangen. Der aufgewirbelte Wüstenstaub, welcher die Ebene bereits mit einem undurchsichtigen gelben Schleier bedeckte, stieg allmälig höher und höher an der Pyramide empor. Als er auch die höchsten Stufen derselben erreicht hatte, vernahm man ein sausendes Geräusch. Als Siemens auf den höchsten Punkt der Pyramide stieg und den Zeigefinger in die Höhe hielt, liess sich ein eigenthümlich zischender Ton hören, wobei ein leises Prickeln der dem Winde entgegengesetzten Hautfläche des Fingers bemerkbar wurde.

Als Siemens weiter eine gefüllte Weinflasche, deren Kopf mit Stanniol bekleidet war, emporhielt, hörte er denselben singenden Ton, wie bei der Aufhebung des Fingers. Während dessen sprangen von der Etikette fortwährend Funken zu der die Flasche haltenden Hand über, und als Siemens den Kopf der Flasche mit der anderen Hand berührte, erhielt er eine kräftige elektrische Erschütterung, während ein glänzender elektrischer Funke vom Kopf der Flasche in die ihn berührende Hand überging.

Offenbar bildete die Flüssigkeit in der Flasche, welche durch den feuchten Kork mit der Metallbelegung des Flaschenkopfes in leitender Verbindung stand, die innere Belegung einer Leydner Flasche, während Etikette und Hand die abgeleitete äussere vertraten. Als die äussere Belegung der Flasche durch Umwickelung derselben mit angefeuchtetem Papier vervollständigt worden war, gab sie bei einer Schlagweite von 10^{mm} so kräftige Schläge, dass ein Araber, welcher Siemens' Hand ergriffen hatte, wie vom Blitze getroffen zu Boden fiel, als Siemens die Flasche der Nase des Arabers genähert hatte. Mit lautem Geheul sprang dieser alsbald wieder auf, um mit mächtigen Sprüngen zu entfliehen.

Als sich Siemens auf einen aus Flaschen improvisirten Isolirschemel von der Steinmasse der Pyramide isolirte, hörte das sausende Geräusch beim Emporheben des ausgestreckten Fingers nach kurzer Zeit auf. Er konnte jetzt seinen Gefährten durch Näherung der Hand Funken ertheilen und empfand eine gelinde Erschütterung, als er den Boden berührte. Die Art der Elektricität zu bestimmen ist nicht gelungen.

Die beschriebenen Erscheinungen waren nur an der Spitze der Pyramide wahrnehmbar. Schon einige Stufen tiefer waren sie nur noch schwach und in der Ebene waren gar keine elektrischen Erscheinungen mehr zu entdecken, obgleich der Wind in ungeschwächter Weise fortbliess.

Siemens erklärt die Erscheinung in folgender Weise:

„Da die elektrischen Erscheinungen erst dann bemerkbar wurden, als der Wüstenstaub die Spitze der Pyramide erreichte, so muss er auch als der Träger und wahrscheinlich auch als die Ursache der Elektricität betrachtet werden. Nimmt man an, dass die vom Winde gepeitschten Staubtheilchen und Sandkörnchen durch die Reibung mit der trocknen Oberfläche des Bodens elektrisch geworden waren, so musste jedes elektrische Körnchen eine Belegung eines Ansammlungsapparates bilden, dessen andere der Erdkörper selbst war, während die zwischen beiden befindliche Luft das die Belegungen trennende isolirende Medium vertrat. Durch die aufsteigende Bewegung der Sandkörnchen ward nun die isolirende Schicht verstärkt, die Schlagweite aller der kleinen geladenen Flaschen musste mithin zunehmen und in einer Höhe von etwa 500 Fuss über dem Boden beträchtlich grösser sein, als in seiner unmittelbaren Nähe. Der Elektricität der gewaltigen elektrisirten Staubwolke, welche über dem Erdboden lagerte, stand eine gleich grosse Quantität entgegengesetzter Elektricität der Erdoberfläche gegenüber. Die leitende Pyramide musste nun einen sehr bedeutend verdichtenden Einfluss auf die Elektricität der Erdoberfläche ausüben, da sie als kolossale Spitze zu betrachten ist. Es kann daher nicht überraschen, dass der elektrische Unterschied zwischen den auf dem Gipfel befindlichen höchsten und feinsten Spitzen, wie dem aufgehobenen Finger oder Flaschenkopf, und den Staubkörnchen so gross war, dass zahllose kleinere Funken zwischen ihnen übersprangen, während in der Ebene gar keine Elektricität wahrzunehmen war."

246 **Quelle der Luftelektricität.** Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektricität sind die Gelehrten noch nicht einig.

Längere Zeit hindurch fand Pouillet's Meinung, dass durch Verdampfung und Vegetation Elektricität erzeugt werde und dass hier die Quelle der Luftelektricität zu suchen sei, viele Anhänger. Reich fand zwar die Versuche bestätigt, welche Pouillet angestellt hatte, um darzuthun, dass bei Verdampfung von Salzlösungen Elektricität entwickelt werde, allein er zeigte, dass sich Pouillet über die Quelle dieser Elektricität getäuscht habe, dass nicht die Verdampfung, sondern die Reibung der fein zertheilten Flüssigkeit gegen die Tiegelwand die Ursache der Elektricitätsentwickelung sei. Ueberhaupt erhält man jene elektrischen Ladungen nur dann, wenn die Flüssigkeit siedet. Bei allmäliger Verdampfung konnte Riess nie eine Spur von Elektricität nachweisen, und ebenso konnte Reich durch Verdampfung unter dem Siedepunkte nicht die allergeringste Elektricitätsentwickelung entdecken.

Alle Versuche, welche Reich anstellte, um eine etwaige Elektricitätsentwickelung durch Condensation von Wasserdämpfen zu entdecken, gaben negative Resultate.

Riess wiederholte auch Pouillet's Versuche über die Elektricitätsentwickelung durch den Vegetationsprocess; er fand zwar Spuren von Elektricität, aber bald war dieselbe positiv, bald negativ, und einige Controlversuche, die in gleicher Weise mit unbesäeter Erde angestellt wurden, machen es höchst wahrscheinlich, dass jene Spuren nicht von der Vegetation herrühren.

Kurz aus allen Versuchen von Riess und Reich geht hervor, dass die Meinung, als ob Verdampfung und Vegetationsprocess die Ursache der Luftelektricität seien, durchaus nicht experimentell begründet ist. (Siehe meinen Bericht über die neueren Fortschritte der Physik. Braunschweig 1849. Seite 14.)

So war denn der einzige Anhaltspunkt, den man zur Erklärung der atmosphärischen Elektricität glaubte gewonnen zu haben, wieder verloren.

Eine ganz neue Ansicht über den Ursprung der Elektricität, welche die in diesem Capitel besprochenen Erscheinungen bewirkt, hat der jüngere Peltier zuerst in einem Briefe an Quetelet ausgesprochen, und dieser Ansicht stimmt auch Lamont bei, welcher sie in seinem schon citirten Aufsatze ungefähr in folgender Weise entwickelt:

Die Erde besitzt eine gewisse Menge negativer Elektricität, welche sich gleichbleibt, deren Vertheilung aber veränderlich ist. Diese Elektricität nennt Lamont die permanente Elektricität der Erde, zum Unterschied von der inducirten, die in jedem isolirten Körper, er mag permanent elektrisch sein oder nicht, durch einen genäherten elektrischen Körper hervorgerufen wird. Die Atmosphäre, d. h. die reine Luft, hat gar keine Elektricität; sie ist unfähig, die Elektricität zu leiten oder zu behalten.

Wäre die Erde eine Kugel mit vollkommen glatter, gleichförmiger Oberfläche, so würden alle Punkte dieser Oberfläche gleich starke elektrische Spannungen zeigen. Diese Gleichheit wird aber durch zwei Umstände gestört, durch die Erhöhungen auf der Erdoberfläche und durch die Dünste, welche in der Atmosphäre schweben.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass das elektrische Fluidum sich vorzugsweise in Spitzen und Kanten ansammelt, und dadurch erklärt es sich denn leicht, dass auf Hausdächern, Kirchthürmen, Bergspitzen etc. die Elektricität in grösserer Menge angehäuft ist, dass überhaupt die Ladung der Sammelapparate um so stärker wird, je höher man sie über den Boden erhebt.

Die zweite der oben erwähnten Ursachen, welche eine ungleiche Vertheilung der Elektricität auf der Erdoberfläche zur Folge haben, ist der in der Atmosphäre befindliche Wasserdampf, und zwar haben wir hier zweierlei Fälle zu unterscheiden. Entweder ist die Dunstmasse

mit der Erde in Berührung oder sie ist isolirt. Im ersteren Falle tritt dasselbe Verhältniss ein, wie auf einem Berge; die Elektricität verlässt denjenigen Theil der Erdoberfläche, der mit der Dunstmasse in Berührung steht, und begiebt sich auf die Oberfläche der Dunstmasse. Im zweiten Falle muss man in Betracht ziehen, dass jeder Körper latente Elektricität in unbestimmten Mengen enthält, die bei Annäherung eines anderen elektrischen Körpers nach den bekannten Gesetzen frei wird, und so kommt es, dass isolirt in der Luft schwebende Wolken durch die von der Erde ausgehende vertheilende Wirkung bald positiv, bald negativ elektrisch werden.

Durch diese Hypothese finden nun alle oben beschriebenen Ladungserscheinungen an Elektrometern eine ebenso einfache und leichte Erklärung, wie durch die Annahme, dass die Luft elektrisch sei.

Auf ein mit der Spitze versehenes Elektrometer wirkt bei heiterem Himmel die negative Erdelektricität in der Weise vertheilend, dass die positive Elektricität des isolirten Systems in die Pendel herabgezogen, die negative aber in die Spitze getrieben wird, wo sie ausströmt.

In eine Kugel, welche, wie bei der Lamont'schen und Dellmann'schen Methode mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird, muss natürlich negative Elektricität einströmen.

Nimmt man die Beobachtung bei bedecktem Himmel nach länger anhaltendem Regen vor, wo die Luft mit Dünsten gesättigt ist, also die Wolken mit der Erde in leitender Verbindung stehen, so zeigt das Elektrometer gar keine Spannung an. In diesem Falle hat sich die Elektricität an die obere Gränze der Wolken hinaufgezogen und der Beobachter befindet sich im Inneren des elektrisirten Körpers, wo natürlich ebenso wenig wie in einem Zimmer eine elektrische Spannung vorhanden sein kann.

Wenn isolirt von dem Boden elektrische Wolken in der Luft schweben, so werden sie vertheilend auf die Erdoberfläche zurückwirken. Eine negativ elektrische Wolke schwächt die permanente Elektricität der Erdoberfläche, und kann, wenn sie stark genug geladen ist, sogar eine Anhäufung positiver Elektricität an denjenigen Orten der Erdoberfläche bewirken, über welchen sie gerade schwebt. Eine positiv elektrische Wolke dagegen wird durch Vertheilung die permanente negative Erdelektricität verstärken.

So ist denn jedenfalls in der Lamont'schen Hypothese der Erdelektricität eine Basis zur rationellen Erklärung der in diesem Capitel besprochenen elektrischen Erscheinungen gegeben, und es ist nun zu erwarten, ob weitere Forschungen in diesem Gebiete diese Hypothese bestätigen oder nicht.

247 **Elektricität der Gewitterwolken.** Wenn man die Elektricität untersucht, welche sich während eines Gewitters in dem ersten Con-

ductor *h* des Apparates Fig. 335 Seite 686 oder eines ähnlichen ansammelt und zum Funkenzieher überspringt, so findet man, dass es bald positive, bald negative Elektricität ist, dass also die Gewitterwolken bald mit positiver, bald mit negativer Elektricität geladen sind. Crosse beschreibt die Beobachtungen und Versuche, welche er an seinem Apparate während des Verlaufs von Gewittern angestellt hat, ungefähr in folgender Weise:

Wenn sich eine Gewitterwolke den Saugspitzen des Sammelapparates nähert, so divergiren die am ersten Conductor aufgehängten Hollundermarkspendel entweder mit positiver oder mit negativer Elektricität; und wenn die Gränze der Wolke vertical über den Saugspitzen angelangt ist, so schlagen langsam Funken zwischen dem ersten Conductor und dem Funkenzieher über. Nach einiger Zeit, während welcher etwa 9 bis 10 Funken in der Minute überschlagen, folgt eine kurze Pause, auf welche dann das Ueberschlagen der Funken von Neuem beginnt, aber nun mit entgegengesetzter Elektricität, so dass, wenn Anfangs negative Elektricität aus dem ersten Conductor hervorbrach, nun eine Reihe positiver Entladungen folgt, was anzeigt, dass zwei entgegengesetzte elektrische Zonen der Wolke über den Beobachtungsort hinweggezogen sind. Auf das erste folgt ein zweites Zonenpaar, welches schon ein häufigeres Ueberschlagen von Funken bewirkt als das erste. So dauert dann der Wechsel der Elektricitäten eine Zeitlang fort, indem jeder Uebergang in die entgegengesetzte Elektricität durch eine kurze Pause markirt wird; aber immer rascher schlagen die Funken über, bis sie endlich einen regelmässigen Feuerstrom bilden, wenn die Mitte der Gewitterwolke im Zenith steht und das Gewitter in seiner vollen Heftigkeit wüthet. Crosse verband während eines Gewitters mit dem ersten Conductor seiner Vorrichtung eine elektrische Batterie von 75 Quadratfuss innerer Belegung. Bei voller Ladung konnte mit dieser Batterie ein 30 Fuss langer Eisendraht von $^1/_{270}$ Zoll Durchmesser geschmolzen werden. Um die Batterie zu schonen, näherte Crosse eine mit der äusseren Belegung in Verbindung stehende Messingkugel der Kugel der inneren Belegung so weit, dass eine Selbstentladung erfolgte, wenn die Batterie ungefähr $^3/_4$ ihrer vollen Ladung enthielt. Unter diesen Umständen fand ein fast continuirlicher Strom von Entladungen Statt, wenn gerade die Mitte der Gewitterwolke über dem Beobachtungslocale hinzog.

Der Wechsel der Elektricitäten dauert fort, während die zweite Hälfte der Wolke vorüberzieht; allmälig aber nimmt die Intensität ab, wie sie vorher zugenommen hatte.

Eine Gewitterwolke ist also nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach mit derselben Elektricität geladen, sondern sie besteht aus Zonen, welche abwechselnd mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen sind, und zwar ist diese Ladung für die Mitte der Wolke am stärksten und nimmt dann nach den Gränzen hin ab.

248 **Die Blitzableiter.** Franklin's praktischer Geist wandte alsbald seine an elektrischen Drachen gemachten Erfahrungen auf die Construction der Blitzableiter an. Im Wesentlichen bestehen dieselben aus einer zugespitzten Metallstange, welche in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihrem Zweck entsprechen sollen:

1. die Stange muss in eine feine Spitze zulaufen;

2. die Verbindung mit dem Boden muss vollkommen leitend sein; von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt, diejenige Elektricität wird abgestossen, welche mit der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten, die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann; auf diese Weise ist keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren; denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, eine der oben genannten Bedingungen sei nicht erfüllt, die Spitze sei stumpf, die Leitung zum Boden sei unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, dass eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern auch, dass sie unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft sein kann; man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne dem Gebäude zu schaden.

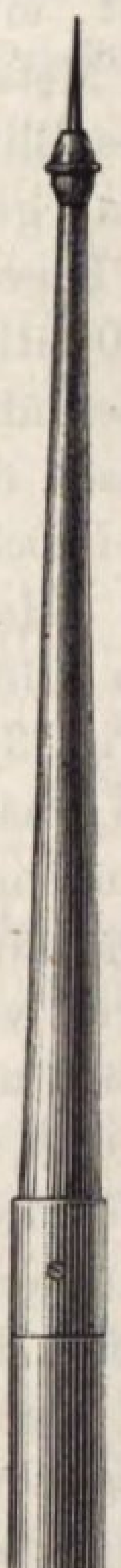
Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er wird sich aber auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben solche Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden gewesen wäre.

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher diesen Fehler hat, ist sehr gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle der Leitung die Elektricität hinlänglich angehäuft ist, so kann ein Funken seitwärts überschlagen, welcher nahe Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Beispiel anführen. Richmann, Professor der Physik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entfuhr, der in sein Haus heruntergeleitet war und dessen Leitung er unterbrochen hatte, um die Elektricität der Wolken zu untersuchen. Sokolow,

Kupferstecher der Akademie, sah, wie der Funken Richmann auf die Stirn traf.

Nachdem wir angegeben haben, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, wenn ein Blitzableiter wirksam sein soll, und welche Gefahren daraus entspringen, wenn man sie vernachlässigt, bleibt noch Einiges über die praktische Ausführung der Blitzableiter zu sagen übrig. Gay-Lussac hat unter den Auspicien der Akademie der Wissenschaften eine treffliche Instruction über diesen Gegenstand verfasst. Nach dieser soll die Spitze des Blitzableiters die Fig. 342 dargestellte Einrichtung haben.

Fig. 342.



$\frac{1}{8}$

Auf einer 8,6 Meter langen Eisenstange ist ein 0,6 Meter langer, etwas konischer Messingstab eingeschraubt und dann noch mit einem Querstift befestigt. Oben ist in diesem Messingstab eine Platinnadel von 0,05 Meter Länge mit Silber eingelöthet und die Verbindungsstelle mit einer Hülle von Messing umgeben.

In Deutschland macht man gewöhnlich auch die Spitze der Blitzableiter von Eisen, vergoldet sie oben, um zu verhindern, dass sie rostet und dadurch abgestumpft wird.

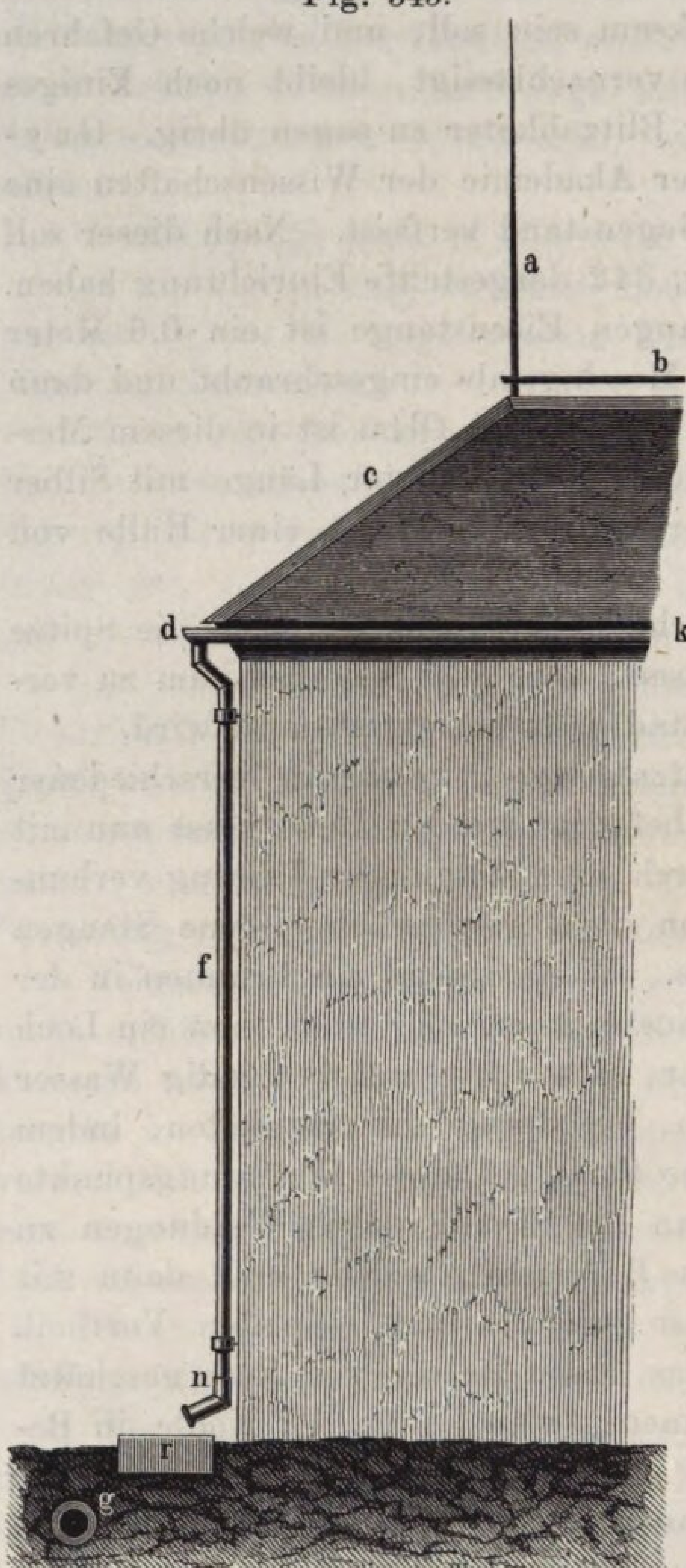
Die Stange des Blitzableiters, welche in verschiedener Weise auf dem Gebäude befestigt werden kann, muss nun mit dem feuchten Boden durch eine metallische Leitung verbunden werden. Es dienen dazu gewöhnlich eiserne Stangen oder starke Kupferdrähte. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, welcher nicht austrocknet, oder wenn man ein Loch bis zur Tiefe bohren kann, in welcher sich beständig Wasser findet, so reicht es hin, die Stange hineinzuleiten, indem man sie in mehrere Arme theilt. Um die Berührungspunkte zu vermehren, führt man die Stange durch Windungen zu dem Brunnen oder dem Bohrloche, welche man dann mit Holzkohlen ausfüllt. Dies gewährt den doppelten Vortheil, dass auf diese Weise das Eisen besser vor Rost geschützt wird und dass es mit einem guten Leiter, der Kohle, in Berührung ist.

Wenn man kein Wasser in der Nähe hat, muss man die Stange wenigstens durch einen langen Canal, der mit Kohlen ausgefüllt wird, an einen feuchten Ort leiten. Der grösseren Sicherheit wegen kann man die Leitstange auch noch in Seitencanäle verzweigen.

Die Wirksamkeit des Blitzableiters ist jedoch noch an einige andere Bedingungen geknüpft. Wenn er von anderen in der Nähe befindlichen Gegenständen überragt wird, so kann die Elektricität der Wolke auf diese stärker wirken als auf den Blitzableiter, der Blitzableiter kann sie also nicht vor den Blitzschlag schützen; ebenso wenn bedeutende Metallmassen, etwa eiserne Stangen oder eine metallische Dachbedeckung, sich in der Nähe des Blitzableiters befinden, ohne mit denselben in leitender

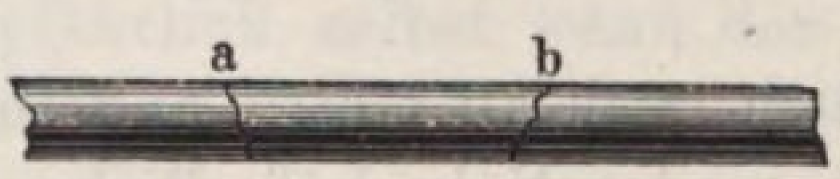
Verbindung zu sein. Wenn solche Metallmassen vorhanden sind, muss man sie möglichst gut in leitende Verbindung mit dem Blitzableiter bringen, damit die angezogene Elektricität ungehindert durch die Spitze ausströmen kann. Es ist demnach gefährlich, die metallene Dachbedeckung von dem Blitzableiter zu isoliren, wie dies einige Praktiker vorgeschlagen haben.

Fig. 343.



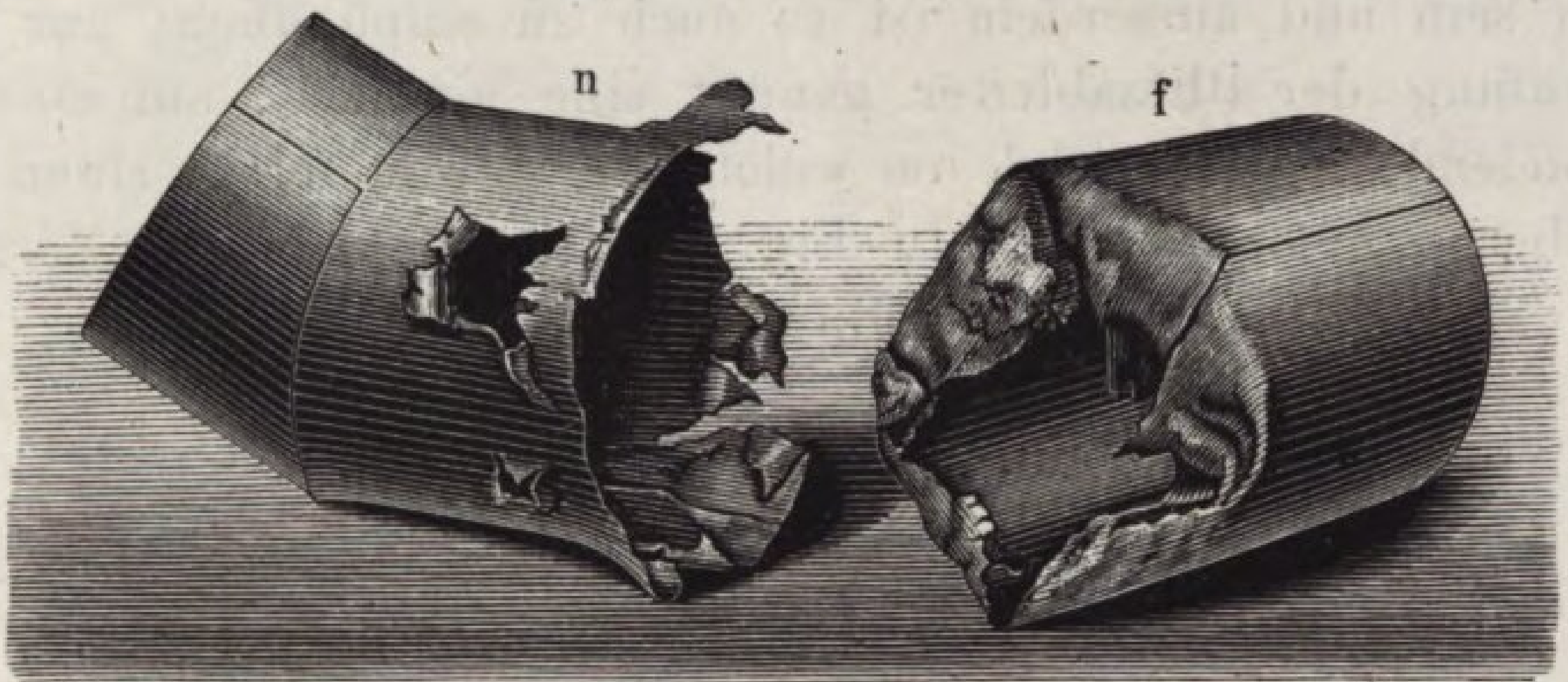
Wie nachtheilig es ist, einigermaassen bedeutende Metallmassen in der Nähe des Blitzableiters isolirt zu lassen, geht aus folgendem Beispiel hervor. Am Abend des 26. Juli 1870 entlud sich ein heftiges Gewitter über Freiburg, im Verlauf dessen der Blitz ein grosses, dreistöckiges, isolirt stehendes Haus traf, welches mit einem Blitzableiter versehen ist. Fig. 343 mag dazu dienen, die Verhältnisse verständlich zu machen. An jedem Ende der Dachfirst steht eine Auffangstange, von denen in unserer Figur nur die eine, *a*, dargestellt ist; *b* ist ein Stück der horizontalen Leitung, welche die beiden Auffangstangen verbindet. Von der Mitte der Leitungsstange *b* geht dann die Ableitung in gehöriger Weise bis zu hinlänglicher Tiefe in den Boden herab. Die Dachfirst sowie die vier Seitenkanten des Daches, von denen unsere Figur nur eine, *c*, zeigt, sind mit Streifen von Zinkblech gedeckt, welche mit den Auffangstangen in leitender Verbindung stehen. Dies ist aber nicht der Fall bei der rings um das Haus laufenden Dachrinne, von welcher in unserer Figur ein Stück *dk* dargestellt ist. Um diese Dachrinne ist die zum Boden führende Leitung in einem Abstand von ungefähr 1 Fuss herumgeführt. Von der Dachrinne gehen in allem acht verticale Röhren von

Fig. 344.



Zinkblech herab, von denen in unserer Figur nur die eine, *f*, nahe am östlichen Eck des Hauses angebrachte zu sehen ist. Dieses Röhrensystem bildet eine Metallmasse von ziemlich bedeutender Oberfläche, welche, wie gesagt, mit dem Blitzableiter nicht leitend verbunden war, wie es doch hätte sein sollen. Durch die vertheilende Wirkung der Gewitterwolken musste eine namhafte Anhäufung der von ihnen angezogenen Elektricität in den oberen Parthien der Röhrenleitung stattfinden, welche eine Entladung bei *d* herbeiführte. Der Blitz folgte nun der verticalen Röhre *f*, welche bis zu dem untersten Stück, welches nicht angelöthet, sondern nur angesteckt war, unversehrt blieb. Das untere Ende von *f*, welches in das Kniestück *n* einfach eingesteckt war, wurde aber gewaltsam nach Innen umgebogen, wie man in *f*, Fig. 345, sieht, während das obere

Fig. 345.



Ende des Kniestückes *n* zerrissen und durchlöchert wurde, wie *n* in Fig. 345 zeigt. Von der Mündung des Kniestücks *n*, Fig. 343, schlug der Blitz über den Rinnstein *r*, den er zerriss, zu der ganz nahe beim Hause vorüberlaufenden, ungefähr 2 Zoll dicken Gasleitungsröhre *g* über, welche an zwei, etwas über 1 Fuss von einander entfernten Stellen zerbrochen wurde, wie Fig. 344 erläutert.

Um eine im Boden liegende metallene Röhrenleitung, welche in der Nähe der Bodenleitung eines Blitzableiters vorbeiläuft, vor Blitzschlägen zu schützen, ist nichts besser, als sie mit dieser Bodenleitung in möglichst gut leitende Verbindung zu bringen.

Die Erfahrung zeigt, dass ein mit allen Vorsichtsmaassregeln angelegter Blitzableiter von den angegebenen Dimensionen einen Umkreis von ungefähr 20 Metern Radius schützt.

Galvanische Prüfung der Blitzableiter. Da bei einem 249
guten Blitzableiter nothwendig von der Spitze bis zum Boden eine vollkommen metallische Leitung stattfinden muss, so ist es wichtig, sich auf eine einfache Weise davon überzeugen zu können, dass diese Bedingung wirklich erfüllt ist; ein zweckmässiges Mittel zu einer solchen Prüfung liefert uns nun der galvanische Strom. Befestigt man an der Spitze des Blitzableiters einen mit Seide übersponnenen Kupferdraht, welcher bis

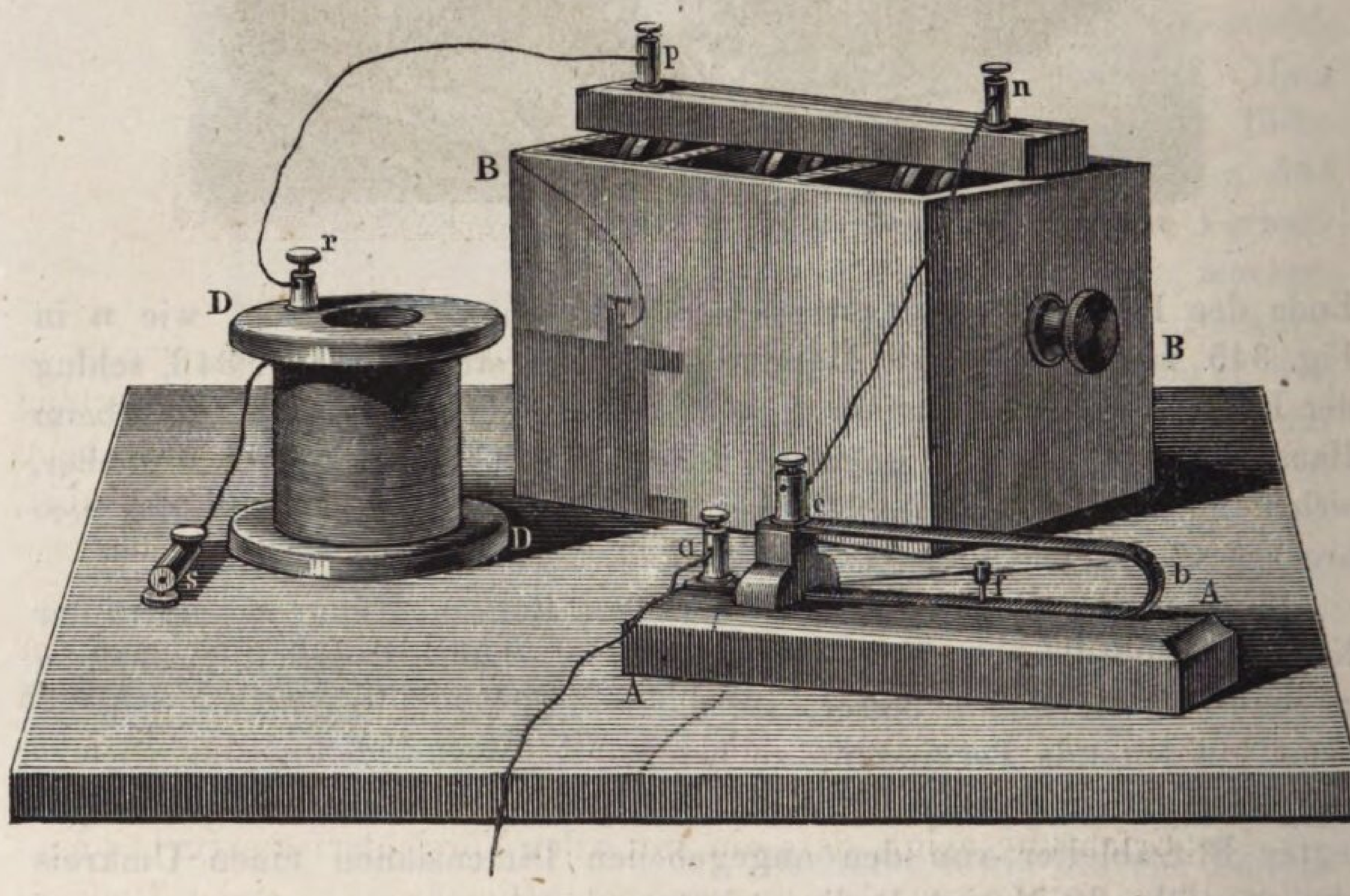
zum Boden herunter reicht; verbindet man dann sein unteres Ende mit dem einen Pol eines einfachen galvanischen Plattenpaares, während vom anderen Pole desselben ein Leitungsdraht zum unteren Ende des Blitzableiters führt, so muss ein galvanischer Strom die ganze Kette durchlaufen, welchen man erkennt, wenn man ein Galvanometer in diesen Schliessungsbogen einschaltet.

Zur galvanischen Prüfung eines Blitzableiters gehören also:

1. ein Galvanometer,
2. eine galvanische Säule,
3. ein Leitungsdraht.

Ein gewöhnliches Galvanometer mit astatischem, an einem Coconfaden hängendem Nadelpaare dürfte zu unserem Zwecke wohl zu zerbrechlich sein und ausserdem ist es auch zu empfindlich; zur galvanischen Prüfung der Blitzableiter genügt eine einfache, auf einer Stahlspitze spielende Magnetnadel, um welche der Strom durch einen Kupferstreifen herumgeleitet wird. In Fig. 346 ist eine solche Vorrichtung

Fig. 346.



bei *A* in $^1/_3$ der natürlichen Grösse dargestellt. Auf einem Brettchen ist ein ungefähr 1 Centimeter breiter Kupferstreifen befestigt, welcher bei *b* so gebogen ist, dass er zwei horizontale Arme *ab* und *bc* bildet, von denen der untere etwas länger ist. Bei *c* sind die beiden Enden durch ein Holzklötzchen getrennt. Bei *f* ist auf dem unteren Arme des Kupferstreifens eine Stahlspitze eingelassen, auf welcher die Magnetnadel spielt. Bei *a* und *c* sind Klemmschrauben angebracht, in welche die Zuleitungsdrähte eingeschraubt werden.

Als Elektromotoren könnte man Bunsen'sche oder Daniell'sche Becher anwenden; allein für solche, welche weniger mit der Handhabung dieser Apparate vertraut sind, ist doch eine Wollaston'sche Säule von etwa 6 Plattenpaaren vorzuziehen, die, an einem gemeinschaftlichen Brette befestigt, in einen rechteckigen Trog *BB* eingesenkt werden können, welcher keine Scheidewände zu enthalten braucht und welcher eine Mischung von 1 Thl. Schwefelsäure auf 20 bis 30 Thle. Wasser enthält. An den beiden Polen dieser Säule sind die Klemmschrauben *p* und *n* aufgesetzt.

Der kupferne Leitungsdraht von 100 bis 150 Fuss Länge und 1/3 bis 1/2 Millimeter Dicke ist mit Seide oder Wolle übersponnen und wird des bequemeren Gebrauchs wegen auf eine hölzerne Spule *D* aufgewickelt, an welcher sein inneres Ende befestigt und mit einer Klemmschraube *r* versehen ist. An dem anderen Ende des Drahtes ist dann gleichfalls eine Klemmschraube *s* angelöthet.

Um den Versuch anzustellen, werden die besprochenen Apparate, wie unsere Figur zeigt, auf einen Tisch zusammengestellt, welcher in der Nähe der Stelle steht, wo der Blitzableiter in den Boden eintritt. Das Galvanometer wird so gerichtet, dass die Arme *ab* und *bc* der Kupferleitung in der Ebene des magnetischen Meridians liegen, dass also die Magnetnadel mit der Längsrichtung dieser Streifen parallel ist und also weder zur Linken noch zur Rechten hervorschaut. Ist das Galvanometer so aufgestellt, so wird bei *a* ein kupferner Leitungsdraht eingeschraubt, welcher, 8 bis 10 Fuss lang, zum unteren Ende des Blitzableiters geführt und da mehrere Male um die eiserne Stange desselben einige Fuss über dem Boden herumgewunden wird.

Damit zwischen den Leitungsstangen des Blitzableiters und dem darum gewundenen Kupferdraht metallische Berührung bestehe, muss man die eiserne Stange zuvor etwas anfeilen.

Nun ist der längere, auf die Holzspule aufgewundene Kupferdraht in ähnlicher Weise an der Saugstange des Blitzableiters zu befestigen. Zu diesem Zwecke steigt der Dachdecker hinauf, feilt die Stange etwas an und windet um die angefeilte Stelle einen 2 bis 3 Fuss langen Kupferdraht mehrmals herum; alsdann wirft er eine Schnur herab, welche an dem freien Ende *s* des auf der Spule aufgewundenen Kupferdrahtes angebunden wird und vermittelst deren er dieses Drahtende in die Höhe zieht, während sich unten der Draht von der Spule abwickelt. Ist die Schraubklemme *s* oben angekommen, so befestigt der Dachdecker in derselben das freie Ende des Drahtes, welchen er um die Saugstange herumgewunden hat, während man unten die Spule mit dem Rest des Drahtes auf den Tisch stellt. Ist dies geschehen, so wird ein kurzer Leitungsdraht einerseits in die Klemmschraube *r* der Spule und anderseits in die Klemmschraube *p* eingeschraubt, welche den einen Pol der Wollaston'schen Säule bildet. Um die Kette zu schliessen, hat man jetzt nur noch nöthig, zwischen den Klemmschrauben *n* der Säule und *c* des Galvano-

meters einen kurzen Draht einzuschalten. Sobald dies geschehen ist, circulirt der Strom; er geht von dem einen Pol der Säule durch den langen Leitungsdraht hinauf zur Saugstange, von dieser durch die Leitung des Blitzableiters herab und von dem unteren Ende dieser Leitung durch das Galvanometer zum anderen Pol der Säule zurück.

Ist die Leitung ununterbrochen, so dass der Strom wirklich in der angegebenen Weise circuliren kann, so wird augenblicklich die Magnetnadel abgelenkt und aus der Ebene des Kupferbügels *abc* hervortreten; ist jedoch die Leitung unterbrochen, so bleibt die Magnetnadel unbeweglich.

Zeigt sich auf diese Weise eine Unterbrechung der Leitung, so wird der längere Leitungsdraht nach und nach an verschiedenen Stellen der Blitzableiterleitung befestigt, um so die Strecke ausfindig zu machen, auf welcher sich die Unterbrechung befindet.

250 **Wirkungen der Gewitter auf elektrische Telegraphen.** Auf die Drahtleitungen eines elektrischen Telegraphen muss die Luftelektricität sowohl, wie die Elektricität der Gewitterwolken in ähnlicher Weise wirken wie auf Blitzableiter; die telegraphischen Leitungsdrähte werden also unter dem angedeuteten Einflusse stets von mehr oder weniger starken Strömen durchlaufen werden.

Um solche Ströme sichtbar zu machen, schaltete Baumgartner einen empfindlichen Multiplicator in eine Telegraphenleitung ein, und fand, dass die Nadel desselben fast nie zur Ruhe kommt, dass also die Leitungsdrähte unter dem Einflusse der Luftelektricität fast beständig elektrisch durchströmt sind.

Unter dem Einflusse von Gewitterwolken werden die in den Telegraphendrähten circulirenden Ströme stark genug, um die zeichengebenden Apparate in Bewegung zu setzen, also Signalglocken läuten zu lassen, den Schreibapparat Morse'scher Apparate klappern zu machen u. s. w. Begreiflicher Weise sind aber diese Zeichen so unregelmässig, dass der Telegraphist alsbald ihren Ursprung erkennt. Wenn aber auch die Effecte solcher durch Gewitterwolken inducirter Ströme nicht mit telegraphischen Signalen verwechselt werden können, so wirken sie doch im höchsten Grade störend auf letztere ein, und können ein regelmässiges Telegraphiren oft geradezu unmöglich machen.

Die durch Gewitterwolken in den Telegraphendrähten inducirte Elektricität kann aber unter Umständen auch eine solche Intensität erlangen, dass sie unter lautem Knall, welcher bald dem Knalle einer Peitsche, bald einem Pistolenschuss verglichen wird, zwischen einzelnen Theilen der Apparate in Gestalt kräftiger Funken überspringt. Solche Entladungen, welche namentlich auch dann stattfinden, wenn der Blitz direct in die Leitungsdrähte des Telegraphen einschlägt und durch dieselben bis in ein Telegraphenbureau geleitet wird, können nicht allein die Apparate mehr oder weniger stark beschädigen, sondern auch für die gerade anwesenden Beamten gefährlich werden.

Am 19. Juni 1846 schlugen in Philadelphia zwischen dem Leitungsdrahte, welcher von Aussen in das Haus hineingeführt war und demjenigen Drahte, welcher dazu diente, den Apparat mit der Bodenplatte in leitende Verbindung zu setzen, und welcher an einer Stelle zufällig dem ersteren bis auf weniger als 1 Zoll genähert war, unter dem Einflusse eines benachbarten Gewitters lebhafte Funken über, welche endlich so stark wurden, dass der Aufseher, für die Sicherheit des Hauses besorgt, den einen Draht mit den städtischen Gasröhren in Verbindung setzte, um so die durch die Gewitterwolken inducirte Elektricität in den Boden abzuleiten.

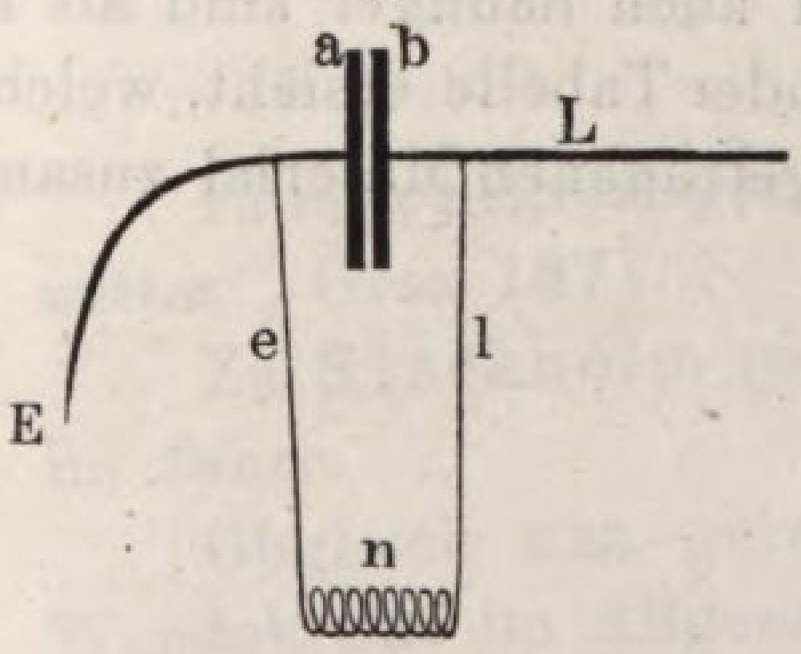
Am 17. August 1847 pflanzte sich die Wirkung eines zu Ollmütz losgebrochenen Gewitters bis nach Triebitz, 10 Meilen weit fort, und ein an letzterem Orte mit der Drahtspannung beschäftigter Arbeiter erhielt einen so starken Schlag, dass er einige Schritte zurücktaumelte.

Sehr häufig werden durch den Blitz die Tragsäulen der Leitungsdrähte zersplittert, die Leitungsdrähte selbst zerrissen, und dünnere Drähte der telegraphischen Apparate durch die übermächtigen Ströme geschmolzen, wodurch dann natürlich die Leitungen unterbrochen und die Apparate untauglich werden.

Eine interessante Zusammenstellung hierher gehöriger Erscheinungen findet man in der 3. Auflage von Schellen's „elektromagnetischem Telegraph“ (Braunschweig 1861) Seite 334 u. f.

Um die elektrischen Telegraphen vor den Unfällen zu schützen, durch welche sie von Gewittern bedroht sind, hat man besondere telegraphische Blitzableiter construirt. Steinheil, von welchem die erste derartige Vorrichtung herrührt, benutzte den Umstand, dass die von Gewittern inducirte Elektricität leichter kleine Zwischenräume überspringt, als den langen Weg dünner Drahtwindungen durchläuft, wie dies unter anderem ja auch aus der oben mitgetheilten zu Philadelphia beobachteten Erscheinung hervorgeht.

Fig. 347.



Das Princip der Steinheil'schen Schutzapparate, welches mit mannigfachen Modificationen fast allgemeine Anwendung gefunden hat, wird durch die schematische Fig. 347 erläutert. Es sei L der von der nächsten Station kommende Leitungsdraht, E der Leitungsdraht, welcher zur Bodenplatte führt; der eine dieser Drähte endet mit einer Metallplatte a, der andere in der Metallplatte b, und diese beiden Platten sind in paralleler Stellung einander ganz nahe gegenübergestellt, ohne sich jedoch metallisch zu berühren. Bei den Steinheil'schen Blitzableitern wird die Isolation der beiden Platten durch ein zwischengelegtes Stück Seidenzeug bewerkstelligt. — Die Leitungsdrähte E und L sind durch die Drahtleitungen e und l mit dem zeichengebenden Apparat n in leitende Verbindung gebracht.

Fig. 348.

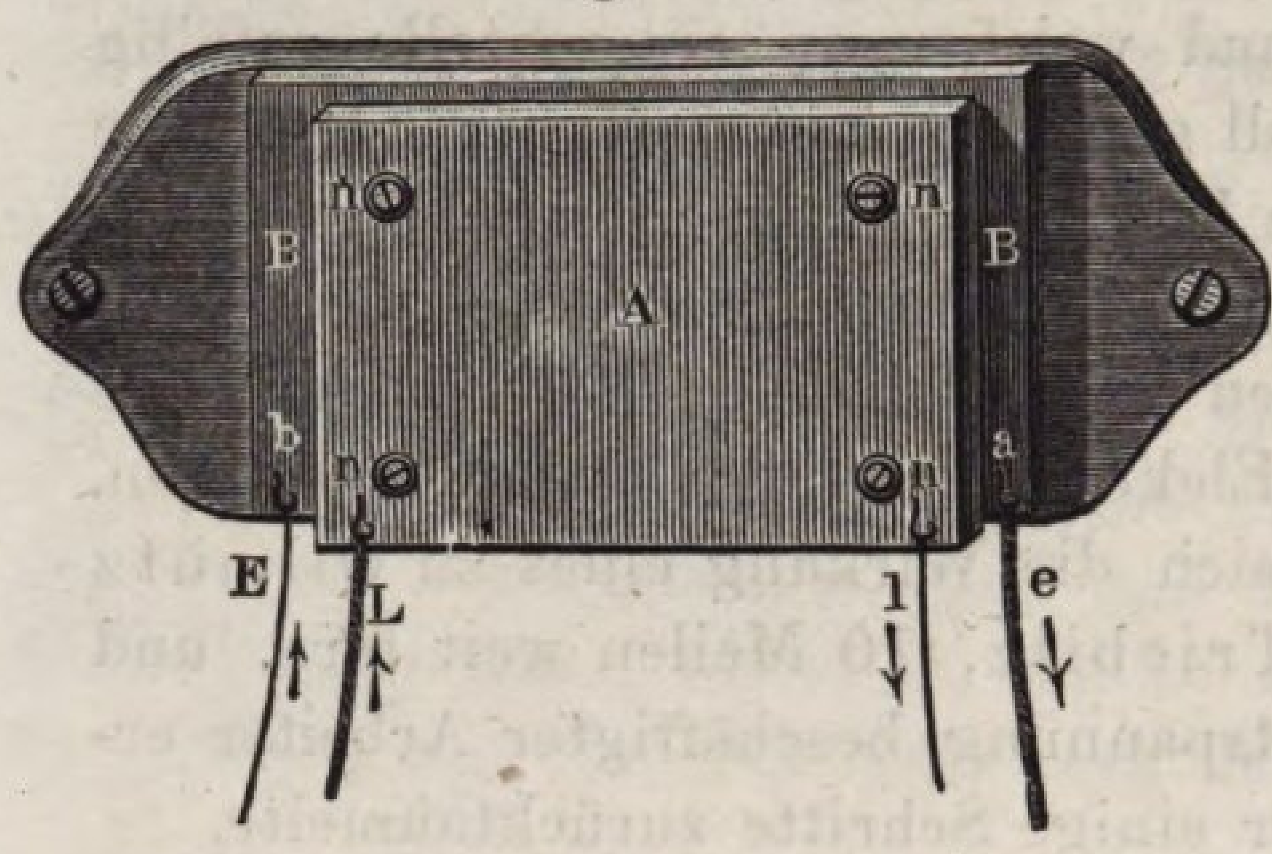
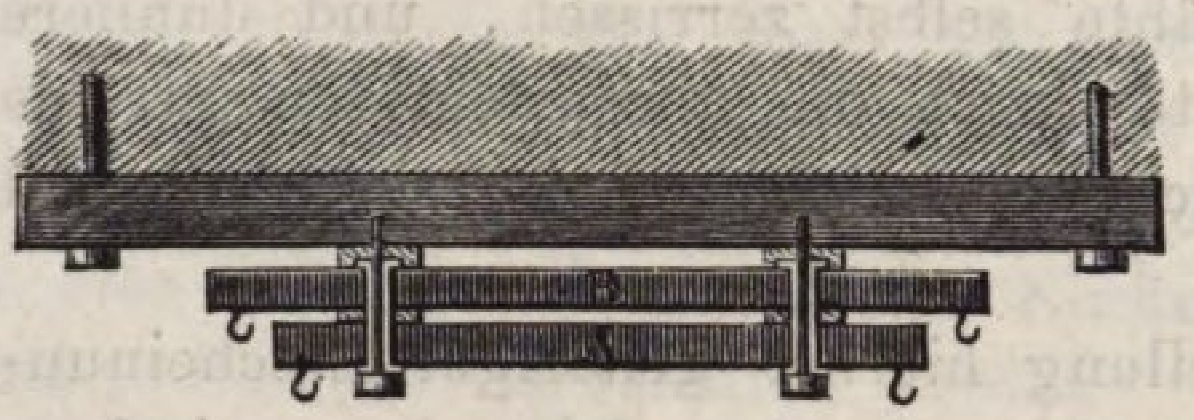


Fig. 349.



Während nun der Strom einer galvanischen Batterie, welcher von der benachbarten Station kommt, den Zwischenraum zwischen den Platten *a* und *b* nicht überspringen kann, sondern die Windungen des zeichengebenden Apparates regelmässig durchläuft, springt umgekehrt die durch Gewitter inducirte Elektricität zwischen den Platten *a* und *b* über, ohne zu den Windungen des zeichengebenden Apparates *n* zu gelangen.

In Fig. 348 sind die Meissner'schen Blitzplatten ungefähr in $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse in perspectivischer Ansicht, in Fig. 349 sind sie im Grundriss dargestellt. Der Abstand der beiden Messingplatten *A* und *B*, deren Berührung durch vier dünne Elfenbeinplättchen verhindert wird, beträgt nahezu $0{,}3^{mm}$. Die ganze Vorrichtung ist an der Wand des Telegraphenbureaus befestigt. Die Zuleitungsdrähte *L*, *E*, *l* und *e* der Fig. 348 entsprechen den gleich bezeichneten Drähten der schematischen Fig. 347.

251 **Geographische Verbreitung der Gewitter.** Obgleich in dieser Beziehung das Beobachtungsmaterial noch sehr mangelhaft ist, so unterliegt es doch keinem Zweifel, dass die Gewitter in der heissen Zone im Allgemeinen nicht allein heftiger, sondern auch häufiger sind als in der gemässigten, wie man dies auch aus folgender Tabelle ersieht, welche nach dem in Arago's Abhandlung zusammengetragenen Material zusammengestellt ist.

Beobachtungsort.	Durchschnittszahl der Gewitter in einem Jahre.	Zahl der Beobachtungsjahre.	Kleinste	Grösste
			Zahl der Gewitter in einem Jahre.	
Buitenzorg (Java) . .	159	17		
Calcutta	60	1		
Rio Janeiro	50,7	6	38	77
Martinique	39			
Abyssinien	38	1		
Guadeloupe	37			
Bern	27	16		
Buenos-Ayres	22,6	7		
Smyrna	19	1		
Berlin	18,4	15	11	30
Padua	17,5	4		
Strassburg	17	20	6	21
Mastricht	16,2	11	8	27
Tübingen	14	9		
Paris	13,8	51	6	25
Leiden	13,5	29	5	17
Athen	11	3	7	18
Petersburg	9,2	11		
London	8,5	13	5	13
Peking	5,8	6	3	14
Cairo	3,5	2	3	4

Eine vollständigere Tabelle dieser Art findet man in Klein's „Gewitter", Graz 1871.

Zu Stockholm giebt es durchschnittlich 9, zu Bergen 6 Gewitter im Jahre.

Obgleich nun gerade innerhalb der Tropen und in der Nähe der Wendekreise im Allgemeinen die Gewitter häufiger sind, so findet man doch warme Länder, in welchen die Gewitter selten sind, wie Aegypten, oder wo sie ganz fehlen, wie in Unter-Peru. Die Bewohner von Lima kennen weder Donner noch Blitz.

Ueber die gemässigte Zone hinaus werden die Gewitter immer seltener, je mehr man sich den Polen nähert. Auf seinen zahlreichen Reisen nach den Polarmeeren beobachtete Scoresby über dem 65^0 n. B. hinaus nur zweimal Donner und Blitz, und über dem 75^0 n. B. hinaus ist dieses Phänomen noch nie wahrgenommen worden.

Was die Vertheilung der Gewitter auf die verschiedenen Jahreszeiten betrifft, so finden sie in der heissen Zone vorzugsweise zu Anfang und zu Ende der Regenzeit Statt.

Im westlichen Europa fällt ungefähr die Hälfte aller Gewitter auf den Sommer, $^1/_{10}$ auf den Winter. In Deutschland und der Schweiz sind die Gewitter im Sommer noch zahlreicher, die Wintergewitter aber seltener; noch weiter im Inneren von Europa giebt es gar keine Wintergewitter mehr. Auf der Westküste von Norwegen, in Bergen, wo im Laufe eines Jahres im Durchschnitt 6 Gewitter stattfinden, kommen dagegen 2 bis 3 auf den Winter und nur 1 bis 2 auf den Sommer. Auch an den Westküsten von Nordamerika und an den Ostküsten des Adriatischen Meeres sind die Wintergewitter vorherrschend.

252 **Aeusserer Charakter der Gewitterwolken.** Der Bildung der Gewitter geht meist eine ungewöhnliche Schwüle voran. In der mit Wasserdämpfen gesättigten Atmosphäre beginnen sich einzelne Wolken zu bilden, welche rasch an Umfang und Dichtigkeit zunehmen und deren äusseres Ansehen sie schon als Gewitterwolken verkündigt. Von der Ferne gesehen erscheinen sie als dunkle, schwarzgraue Wolkenmassen, welche, auf dem Horizonte aufliegend, an ihrer oberen Gränze in eine Masse aufgethürmter Haufwolken übergehen, welche, noch von der Sonne beschienen, durch ihre blendende Weisse nur um so mehr gegen die Dunkelheit der tieferen Wolkenschichten contrastiren. In diesen aufgethürmten Wolkenmassen bemerkt man gewissermaassen ein gewaltiges Aufschwellen, eine rasche Formveränderung der kugeligen Wolkengipfel, während die ganze Wolkenmasse doch nur langsam vorrückt.

Allmälig nähert sich die Gewitterwolke mehr dem Zenith, und wir sehen nur noch die untere Seite derselben, welche vielfach zerrissen erscheint. Die herabhängenden Wolkenfetzen sind in fortwährender unregelmässiger Bewegung und zeigen oft eine eigenthümliche blaugraue Färbung, welche man als Vorboten von Hagel betrachtet. Eben so sieht man unter der grossen Gewitterwolke oft einzelne isolirte Wölkchen in unregelmässiger Bewegung nach verschiedenen Richtungen hinziehen.

Was die Höhe der Gewitterwolken über der Erdoberfläche betrifft, so ist diese in gebirgigen Gegenden am leichtesten zu bestimmen, da höhere Berge häufig in die Region der Gewitterwolken hinein-, ja über dieselbe hinausragen, so dass man sich auf dem Gipfel der Berge im vollen Sonnenschein befindet und den reinen blauen Himmel über sich hat, während Gewitterwolken mit Blitz und Donner die Thäler bedecken. In der Ebene lässt sich die Höhe der Gewitterwolken ermitteln, wenn man die Winkelhöhe der Stelle misst, an welcher ein Blitz erscheint, und dann die Zeit beobachtet, welche zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners verstreicht.

Aus solchen Beobachtungen hat man ermittelt, dass sich die Gewitterwolken oft bis zu einer Höhe von 700 bis 1000 Fuss herabsenken,

während die mittlere Höhe derselben 3000 bis 4000 Fuss zu sein scheint. Aber auch in sehr grossen Höhen finden Gewitter Statt, denn es fehlt uns nicht an Berichten, dass Reisende auf den Gipfeln der höchsten Berge noch Gewitter über sich beobachtet haben; so Saussure auf dem Côl du Géant in einer Höhe von 10 500 und Bouguer auf dem Pichincha in einer Höhe von 14 600 Fuss.

Der Blitz und das Wetterleuchten. Ein Gewitter kommt 253
zum Ausbruch, wenn sich Wolken, welche einen hinlänglichen Grad elektrischer Ladung erreicht haben, in der Nähe anderer Wolken oder irdischer Gegenstände befinden, gegen welche sie sich entladen können.

Jede solche Entladung ist von einer Lichtentwickelung, dem Blitz (éclair), und von einer Lufterschütterung begleitet, von welcher der Donner herrührt. Ein Blitz, welcher einen Körper der Erdoberfläche trifft, wird als Blitzschlag (foudre) bezeichnet.

Arago unterscheidet drei Arten von Blitzen. Die Blitze der ersten Classe sind zickzackförmig geschlängelte, schmale, scharf begränzte Lichtstreifen, welche der Form nach mit den langen Funken kräftiger Elektrisirmaschinen oder grösserer Ruhmkorff'scher Apparate die grösste Aehnlichkeit haben. Solche Blitze schlagen häufig zwischen zwei Wolken oder auch zwischen einer Wolke und einem Gegenstand auf der Erdoberfläche über, in welchem Falle man sagt, dass der Blitz eingeschlagen habe.

Die Blitze sind oft Meilen lang, wie man am besten übersehen kann, wenn man auf einem hohen Berge unter sich ein Gewitter in der Tiefe zu beobachten Gelegenheit hat. In solchen Fällen sieht man auch, dass häufig Blitze aus den Gewitterwolken nach oben schlagen. Im Jahre 1700 tödtete ein von unten kommender Blitzschlag in Steyermark sieben Personen, welche sich in einer auf einem hohen Berge gelegenen Capelle befanden. Während in der Tiefe das Gewitter tobte, schien oben die Sonne hell am blauen Himmel und Niemand ahnete eine Gefahr.

Viel häufiger als die eben besprochenen sind die Blitze der zweiten Classe, deren diffuses Licht nicht auf einer schmalen gebrochenen Linie concentrirt ist, sondern über grössere Flächen ausgebreitet erscheint. Die Unterscheidung in Blitze der ersten und zweiten Classe ist häufig eine rein zufällige. Ein an und für sich linearer Blitz kann einem Beobachter als ein Blitz zweiter Classe erscheinen, wenn ihm sein directer Anblick durch eine zwischengelagerte Wolke entzogen ist und er nur die durch jenen Blitz hervorgebrachte Erleuchtung wahrnehmen kann. In diesem Falle ist aber der Flächenblitz von gleich kurzer Dauer wie der Linienblitz; man hat es hier nur scheinbar mit Blitzen der zweiten Classe zu thun. Die eigentlichen Blitze zweiter Classe zeichnen sich durch eine etwas längere Dauer der Lichterscheinung aus. Danach ständen die Blitze erster und zweiter Classe in einer ähnlichen Beziehung zu einander, wie Funken- und Büschelentladung.

Diese Ansicht wird durch Kundt's Beobachtungen über das Spectrum der Blitze bestätigt, nach welchen das Spectrum der Linienblitze gleich dem Spectrum des Funkens der Elektrisirmaschine aus einzelnen schmalen scharf begränzten Linien besteht, während die Spectra der eigentlichen Flächenblitze, ebenso wie die Spectra der elektrischen Büschel durch breitere Lichtbänder gebildet werden.

Als Blitze der dritten Classe bezeichnet Arago Feuerkugeln von sehr verschiedenem Volumen, welche manchmal während der Gewitter die Atmosphäre mit einer verhältnissmässig so geringen Geschwindigkeit durchlaufen, dass man sie oft mehrere Secunden lang mit den Augen verfolgen kann. Ihr plötzliches Verschwinden erfolgt manchmal ohne Geräusch, manchmal aber ist es von einer Detonation begleitet, welche Aehnlichkeit mit Kanonendonner hat. Die Wirkungen, welche solche Kugelblitze auf die getroffenen Gegenstände ausüben, sind ganz die gleichen, wie die Wirkungen des gewöhnlichen Blitzschlags. Arago zählt eine grosse Anzahl solcher Feuerkugeln auf, deren elektrische Natur unzweifelhaft ist, deren Bildungsweise wir aber bis jetzt absolut nicht erklären können.

Ein interessantes Beispiel der ziemlich selten vorkommenden elektrischen Feuerkugeln bespricht Hugueny im 6ten Bande der Mémoires de la société des sciences naturelles de Strasbourg. Am 13. Juli 1869 zog gegen Abend von Südwesten her ein Gewitter ohne Regen heran. Um 7 Uhr 7 Minuten traf unter furchtbarem Krachen ein Blitz erster Classe einen Pappelbaum der Rheininsel bei der Kehler Schiffbrücke. Gleich darauf bewegte sich von der Gegend dieses Pappelbaumes aus in fast horizontaler Richtung eine elektrische Feuerkugel gegen einen 840 Meter entfernten in der Nähe des Zollhauses stehenden zahmen Kastanienbaum um an demselben unter Explosion zu verschwinden.

Die Feuerkugel, welche von mehreren zuverlässigen Zeugen beobachtet worden war, welche sie der Grösse nach mit einer Kanonenkugel verglichen, legte den 840 Meter langen Weg von der getroffenen Pappel bis zum Kastanienbaum in 3,5 Secunden zurück. Ein Theil des Kugelblitzes, welcher den Kastanienbaum getroffen hatte, drang am Stamme herab in den Boden, zum Theil aber traf er drei Soldaten des französischen Wachtpostens, welche auf einer unter dem Baume befindlichen Bank gesessen hatten. Zwei derselben wurden durch den Schlag sogleich getödtet und der dritte schwer verletzt.

Das Wetterleuchten, welches man des Abends oder während der Nacht selbst bei ganz heiterem Himmel sieht, ohne dass man irgend ein Donnern hört, ist wohl nur der Widerschein sehr entfernter Blitze. In der Nacht vom 10. auf den 11. Juli 1783 bemerkte Saussure auf der Grimsel in der Richtung gegen Genf am Horizonte einige Wolkenstreifen, in welchen er Wetterleuchten wahrnahm, ohne dass man das mindeste Geräusch hören konnte. In derselben Nacht, zu derselben Stunde wurde Genf von einem furchtbaren Gewitter heimgesucht.

Am Abend des 31. Juli 1813 beobachtete Howard zu Tottenham in der Nähe von London bei vollkommen wolkenfreiem Himmel starkes Wetterleuchten gegen Südosten hin, und erfuhr später, dass zu derselben Zeit ein heftiges Gewitter zwischen Dünkirchen und Calais, also in einer Entfernung von ungefähr 25 Meilen, stattgefunden hatte.

Dass der Widerschein eines Blitzes auf solche Entfernungen hin wahrnehmbar sein kann, geht daraus hervor, dass, als Zach im Jahre 1803 auf dem Brocken zum Zweck von Längenbestimmungen Blitzfeuer von 7 Unzen Pulver anzündete, man den Widerschein bis auf eine Entfernung von nahe 40 Meilen, also an Orten wahrnehmen konnte, von welchen aus wegen der Krümmung der Erde der Gipfel des Brockens selbst gar nicht mehr sichtbar sein konnte.

Der Donner entsteht ohne Zweifel durch die Vibrationen der beim 254
Ueberschlagen des Blitzes gewaltsam erschütterten Luft. Blitz und Donner entstehen gleichzeitig, und wenn man den Donner später hört, als man den Blitz sieht, so liegt dies nur darin, dass sich der Schall ungleich langsamer fortpflanzt als das Licht.

Aus dem Zeitintervall, welches zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners vergeht, kann man auf die Entfernung des Blitzes vom Beobachtungsorte schliessen.

Der Blitz ist, in runder Zahl ausgedrückt, so vielmal 1000 Fuss vom Beobachter entfernt, als Secunden zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners verstreichen.

Der Donner ist nicht auf weithin hörbar; das grösste Zeitintervall, welches man bis jetzt zwischen Blitz und Donner beobachtet hat, beträgt 72 Secunden, was auf eine Entfernung von nicht ganz 4 geographischen Meilen schliessen lässt. Dass der Donner schon in so geringer Entfernung aufhört, wahrnehmbar zu sein, ist um so auffallender, da man Kanonenschüsse viel weiter hört. Bei der Belagerung von Genua durch die Franzosen hörte man den Kanonendonner zu Livorno, in einer Entfernung von 20 Meilen.

Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet, als das Licht, da er in einer Secunde nur 340 Meter zurücklegt, so sieht man den Blitz eher, als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher sich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entstehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz sei 3400 Meter lang und der Beobachter befinde sich in der Verlängerung seiner Bahn, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes 10 Secunden später ankommen, als von dem zunächst gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verschiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, so hört er also nicht einen momentanen Knall, sondern ein, je nach der Länge des Blitzes

und seiner Stellung gegen die Bahn desselben, länger oder kürzer dauerndes Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verstärkt wird.

255 **Wirkungen des Blitzschlages.** Denken wir uns, dass eine etwa positive Gewitterwolke über dem Meere oder über einem See schwebe, so wird sie vertheilend wirken, die positive Elektricität im Wasser wird zurückgestossen, die negative aber an der Oberfläche des Wassers angehäuft; diese Anhäufung kann so bedeutend sein, dass sie eine merkliche Erhebung des Wassers bewirkt; es wird sich eine grosse Woge, ein Wasserberg bilden können, welcher so lange bleibt, als dieser elektrische Zustand dauert, der auf dreierlei Weise endigen kann. 1) Wenn sich die Elektricität der Wolke allmälig verliert, ohne dass ein Entladungsschlag erfolgt, so wird sich auch der neutral-elektrische Zustand des Wassers allmälig wieder herstellen. 2) Wenn der Blitz zwischen einer Gewitterwolke und einer anderen, oder zwischen der Wolke und einem entfernteren Orte der Erde überschlägt, wenn also die Wolke plötzlich entladen wird, so muss die an der Oberfläche des Wasserberges angehäufte Elektricität auch rasch wieder ab-, die bisher abgestossene rasch wieder zuströmen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückschlag Statt. 3) Wenn die Gewitterwolke sich nahe genug befindet und wenn sie stark genug mit Elektricität geladen ist, so schlägt der Blitz auf den Wasserberg über. Dieser directe Schlag bringt in der Regel eine bedeutendere Bewegung, ein stärkeres Aufwallen des Wassers hervor als der Rückschlag. Ein solcher Schlag findet nicht ohne mächtige mechanische Wirkung Statt.

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken auf dem Lande.

Eine allmälige Zerlegung und Wiedervereinigung der Elektricität bringt keine sichtbaren Wirkungen hervor; es scheint jedoch, dass solche Störungen des elektrischen Gleichgewichts durch organische Wesen, und namentlich durch nervenkranke Personen, empfunden werden können.

Der Rückschlag ist stets weniger heftig als der directe; es giebt kein Beispiel, dass er eine Entzündung veranlasst habe, dagegen fehlt es nicht an Beispielen, dass Menschen und Thiere durch den Rückschlag getödtet worden sind; man findet an ihnen in diesem Falle durchaus keine gebrochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandspuren.

Die furchtbarsten Wirkungen bringt der directe Schlag hervor. Wenn der Blitz einschlägt, so bezeichnet er die Stelle, wo er den Boden trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher.

Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem Blitzschlage ausgesetzt; daher kommt es, dass so oft Thiere mitten in der Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man jedoch auf einem nichtleitenden Boden sicherer, als auf einem gutleitenden.

Bäume sind schon durch Säfte, welche in ihnen circuliren, gute

Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den Bäumen eine starke Anhäufung von Elektricität Statt, und deshalb sagt man mit Recht, dass Bäume den Blitz anziehen; man darf daher während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäumen, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen Schutz suchen.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammengesetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden. Wenn der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter, mögen sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt sein; die vertheilende Kraft der atmosphärischen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel sehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die Möbeln umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden herausgerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlieh aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Späne findet man weit weggeschleudert, und am Fusse des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das elektrische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trockenes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung Statt; bei Bäumen findet man jedoch seltener Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung hervor; Saussure bemerkte sie auf dem Gipfel des Montblanc in Hornblendeschiefer, Ramond auf dem Gipfel des Montperdu in Glimmerschiefer und auf dem Puy de Dome in Porphyr; endlich sahen Humboldt und Bonpland auf dem Gipfel des Vulcans von Toluca auf einer Ausdehnung von mehr als zwei Quadratfuss hin die Oberfläche der Felsen verglast; an einigen Stellen fanden sie sogar Löcher, welche innen mit einer glasigen Kruste überzogen waren.

Ein interessantes Beispiel von Schmelzung durch den Blitz erzählt uns Withering (Phil. Transact. 1790). Am 3. September 1789 schlug der Blitz in eine Eiche im Park des Grafen von Aylesford ein und tödtete einen Menschen, welcher unter diesem Baume Schutz gesucht hatte. Der Stock, welchen der Unglückliche trug, scheint besonders den Blitz geleitet zu haben, weil sich da, wo der Stock auf den Boden aufgestützt war, ein Loch von 5 Zoll Tiefe und $2^1/_2$ Zoll Durchmesser fand. Das Loch wurde alsbald von Withering untersucht, und es fanden sich

in demselben nur einige verbrannte Wurzelfasern. Der Lord Aylesford wollte nun an dieser Stelle eine Pyramide mit einer Inschrift errichten lassen, welche davor warnen sollte, bei Gewittern unter Bäumen Schutz zu suchen. Beim Graben des Fundaments fand man den Boden in der Richtung des Loches bis zu einer Tiefe von 10 Zoll geschwärzt, und 2 Zoll tiefer fand man in dem quarzigen Boden deutliche Spuren von Schmelzung. Unter Anderem fand sich ein Quarzstück, dessen Kanten und Ecken vollkommen geschmolzen waren, und eine durch die Hitze zusammengebackene Sandmasse, in welcher sich eine Höhlung befand, in der die Schmelzung so vollkommen war, dass die geschmolzene Quarzmasse an den Seiten der Höhlung heruntergeflossen war.

Endlich müssen hier noch die sogenannten Blitzröhren, Fulgurite, erwähnt werden, welche man in den sandigen Ebenen von Westphalen, Schlesien, von Ostpreussen, von Cumberland und in Brasilien, nahe bei Bahia, findet. Diese Röhren sind oft 8 bis 10 Meter lang, ihr äusserer Durchmesser beträgt gewöhnlich 5 Centimeter, ihr innerer einige Millimeter; die innere Fläche ist vollkommen verglast, die äussere ist rauh; sie sieht aus wie eine mit zusammengebackenen Sandkörnern bedeckte Kruste; man findet sie bald in verticaler, bald in schräger Richtung im Sande; am unteren Ende verzweigen sie sich gewöhnlich und werden nach und nach spitzer. Fiedler, welcher über diesen Gegenstand viele interessante Beobachtungen gemacht hat (Gilbert's Annal. Bd. LV. und LXI.), bemerkt, dass sich in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche der Sandebenen Wassermulden befinden, und er betrachtet die Blitzröhren dadurch entstanden, dass der Blitz durch den Sand nach dem Wasser durchschlägt.

Fig. 350.



Fig. 350 stellt eine sich in zwei Hauptäste vertheilende Blitzröhre dar, welche Conwerden bei Rheina an der Ems an der Südseite eines 15 bis 16 Fuss hohen Sandhügels bis zu einer Tiefe von 13 Fuss ausgegraben hat. Fig. 351 stellt ein Stück einer aus der Senner Haide bei Paderborn stammenden Blitzröhre in natürlicher Grösse dar.

Die vollständige Verglasung, welche man an der inneren Wandung der Blitzröhren beobachtet, ist ein Beweis, dass sie durch Schmelzung des Sandes entstanden sind, also nur durch Blitzschläge erklärt werden können; jedenfalls ist die Ansicht irrig, als seien es röhrenartige Concretionen, welche sich in sandigem Terrain durch herabrinnendes Wasser nach und nach gebildet haben. Die oben angeführte Mittheilung Withering's kann als directer Beweis für den elektrischen Ursprung der Blitzröhren dienen. Noch unzweifelhafter ergiebt sich aber dieser Ursprung aus der folgenden Beobachtung. Am 15. Juni 1858 zwischen 11 und 12 Uhr Morgens waren einige Leute auf einem Baggerschiffe auf der Hunte bei Oldenburg beschäftigt, als sie von einem heftigen Blitzstrahl betäubt wurden. Alsbald wieder zur Besinnung gekommen, sahen sie es am gegenüberliegenden Ufer dampfen. Sie fuhren hinüber und bemerkten an einer Stelle, deren Rasen verkohlt war, zwei mit einem Kranze weissen Sandes umgebene Löcher. Bei vorsichtigem Nachgraben führte jedes Loch zu einer Röhre, welche ihrer zarten Beschaffenheit wegen nur stückweise herausgebracht werden kann. Die ganz dünnwandigen Röhrenstücke, welche zum Theil dem Oldenburger Museum übergeben wurden, sind inwendig hübsch verglast und von aussen von anhängendem Sande rauh (Pogg. Ann. CVI, 1859). Aehnliche Beobachtungen wurden auch anderwärts gemacht; zu den interessantesten hierher gehörigen Beobachtungen dürfte wohl der folgende von Dr. Hoh (Pogg. Annal. CXXXI) mitgetheilte Fall gehören. Am 24. Juni 1867 schlug der Blitz zu Forchheim in der Nähe von Bamberg in ein Haus, in dessen unterem Stock er zwei Kinder und drei junge Hunde tödtete und einen alten Mann betäubte. In einem Zimmer des oberen Stockes legte der Blitz auf dem mit weissem Sand bestreuten Fussboden einen Weg von zwei Fuss Länge zurück und bildete hier eine förmliche Blitzröhre von abgeplatteter unregelmässiger Cylinderform, welche innen durch Schmelzung vollkommen glatt, aussen durch zusammengebackene Sandkörner rauh erscheint. Der Durchmesser eines 2 Zoll langen, im Besitze des Dr. Hoh befindlichen Stückes dieser Röhre wechselt von 2 bis 6 Linien.

Fig. 351.



Am 9. Juli 1849 entlud sich über Basel ein heftiges Gewitter, welches dreimal einschlug. Einer dieser Blitzschläge folgte dem Blitzableiter eines Hauses bis in den Boden, sprang aber von da auf eine 3 Fuss vom unteren Ende der metallischen Leitung vorübergehende eiserne Wasserleitung über. Die einzelnen Röhrenstücke dieser Wasserleitung waren mit Pech in einander gefügt, und gerade an diesen Stellen,

wo also die metallische Leitung unterbrochen war, wurden viele Röhrenstücke bis auf eine Entfernung von mehr als $^1/_6$ Meile durch das Ueberspringen des elektrischen Fluidums zersprengt. Gleich nach jenem Blitzschlage hörten deshalb auch alle Brunnen des entsprechenden Stadtviertels auf zu fliessen.

Dass der Blitzschlag Menschen und Thiere tödten kann, ist bekannt; als Beispiele führe ich hier einige der Fälle an, deren ersterer aus Arago's Abhandlung „sur le tonnère" Seite 475 entnommen sind. (Annuaire du bureau des longitudes pour 1838.)

In der Nacht vom 26. auf den 27. Juli 1759 schlug der Blitz in das Theater der Stadt Feltre ein, tödtete viele Zuschauer und verwundete fast alle übrigen.

Im Jahre 1808 schlug der Blitz in ein Wirthshaus des Fleckens Kappel im Breisgau und tödtete 4 Personen.

Am 20. März 1784 schlug der Blitz in den Saal des Theaters zu Mantua, wo 400 Personen versammelt waren; er tödtete 2 derselben und verwundete 10.

Am 11. Juli 1819 schlug der Blitz während des Gottesdienstes in die Kirche von Chateauneuf-les-Moustiers im Arrondissement von Digne (Departement der Niederalpen) ein, tödtete 9 Personen und verletzte deren 24 mehr oder weniger.

Am 10. Juli 1855 entlud sich Morgens zwischen 7 und 9 Uhr über der ganzen badischen Rheinebene und einem Theile des Schwarzwaldes ein Gewitter, welches an weit auseinander liegenden Orten mehrere Menschen tödtete. Zu Thunsel, oberhalb Freiburg, erschlug nämlich der Blitz einen aus dem Felde heimkehrenden Ackerknecht sammt seinen beiden Pferden. Im Amte Durlach suchten vier Personen unter einem 40 Fuss hohen Birnbaum Schutz gegen den Regen; ein Blitzschlag, welcher den Baum traf, tödtete zwei derselben, während die beiden anderen gelähmt wurden. In der Nähe von Bruchsal endlich schlug während desselben Gewitters der Blitz in eine Torfhütte, in welche sich viele Arbeiter geflüchtet hatten, verletzte mehrere und tödtete zwei derselben.

Im Ganzen ist aber doch die Summe der durch den Blitz erschlagenen Personen so gering, dass man solche Fälle immerhin zu den Seltenheiten zählen kann, obgleich das Einschlagen des Blitzes in Gebäude ziemlich häufig vorkommt. So schlug in der einzigen Nacht vom 14. auf den 15. April 1718 der Blitz längs der Küste der Bretagne in 24 Kirchthürme und am 11. Januar 1815 traf der Blitz in den Niederlanden 12 Thürme.

Ausgezeichnete und hohe Gebäude werden sehr häufig durch den Blitz heimgesucht.

Im Jahre 1417 schlug der Blitz in den Glockenthurm von St. Marcus in Venedig und zündete das Gebälk an, welches vollständig verbrannte; das wiederhergestellte Dach wurde im Jahre 1489 durch einen Blitzschlag abermals in Asche gelegt. Die später von Stein erbaute

Pyramide wurde am 23. April 1745 durch einen heftigen Blitzschlag so verwüstet, dass die Reparaturen 8000 Ducaten kosteten.

Im Juli 1759 entzündete der Blitz das Dach des Strassburger Münsters, und im October des folgenden Jahres traf ein Blitzstrahl den Thurm desselben und zerschmetterte die Pfeiler, welche die sogenannte Laterne tragen, dermaassen, dass die Reparatur über 100 000 Franken kostete.

Auch der Thurm des Freiburger Münsters ist öfters vom Blitz getroffen worden; so richtete z. B. ein Blitzschlag, welcher am 28. April 1561 die herrliche Pyramide, Fig. 352, traf, so bedeutenden Schaden an,

Fig. 352.



dass man zur Wiederherstellung derselben Werkmeister von Strassburg, Colmar und Ettlingen kommen liess und die benachbarten Stifter beisteuerten, um die Kosten dieser Reparatur zu decken.

Am 2. Januar 1819 traf ein Blitzstrahl den Münsterthurm und ging, nachdem er die in der Höhe von *b*, Fig. 352, hängenden Glocken erreicht hatte, ohne merklichen Schaden zu thun, auf der Nordseite des Thurms an dem Draht herab, welcher zu der Signalschelle in der Wohnung des Thurmwächters führt. Ein Knabe, welcher gerade unter dem Handgriff dieses Drahtes sich befand, wurde getödtet.

Am 10. Januar 1843 zwischen 3 und 4 Uhr Nachmittags nahm ein Blitzschlag wieder fast denselben Weg, wie im Jahre 1819. Von der Pyramide, an welcher nur einige Steine beschädigt wurden, trat er in die Schneckenstiege *ab*, Fig. 352, welche das nordöstliche Eck des Thurmes bildet; die eisernen Klammern, welche hier zur besseren Verbindung der einzelnen Steine mittelst Blei eingelassen sind, bestimmten den Weg; von einer solchen Klammer zur nächsten überspringend, wurde ein Theil des zur Befestigung dienenden Bleies geschmolzen, mit fortgerissen und auf dem Zwischenraum zwischen je zwei Klammern wurde auf der Oberfläche des Sandsteines ein Bleiglas erzeugt, welches in Form kleiner Glaskügelchen einen fingerbreiten weissen Streifen bildete. Durch allmälige Verwitterung des Bleiglases ist dieser Streifen jetzt wieder verschwunden. Aus der Schneckenstiege nahm der Blitz abermals seinen Weg über die Glocken zu dem schon erwähnten ungefähr 1''' dicken eisernen Schellendraht, welcher diesmal theilweise geschmolzen und zerrissen wurde.

Im Jahre 1844 stellte Frick den Blitzableiter am Thurme her, und zwar auf folgende ebenso einfache als zweckmässige Weise: Von dem metallenen Stern, welcher als Wetterfahne dienend ohnehin schon die Spitze bildet, wurde ein aus 9 ungefähr $1^1/_2{}^{mm}$ dicken Kupferdrähten bestehendes Drahtseil bis in den Boden herabgeführt und mit diesem durch 5^{mm} dicke Kupferdrähte alle bedeutenderen Metallmassen, wie die Glocken, die Eisenstangen, welche die Pyramiden halten, u. s. w., in Verbindung gebracht.

Diese Vorrichtung hat sich am 28. April 1847 trefflich bewährt, indem ein Blitzstrahl, welcher den Thurm traf, an dem erwähnten Drahte bis zum Boden herabfuhr, ohne dass er auch nur die mindeste Verletzung hervorgebracht hätte.

Dagegen wurde das Drahtseil auf der ganzen Strecke von der Spitze bis zum unteren Ende der Pyramide bei *a*, Fig. 352, in mehrere grössere und kleinere Stücke zerbrochen, als sich am Abend des 8. April 1862 ein furchtbarer Blitzschlag auf den Münsterthurm entlud. — Auffallender Weise zeigten alle Bruchstellen des Drahtes eine schöne Goldfarbe und bei genauerer Untersuchung ergab sich, dass der Draht in Folge eines Unterschleifes des Lieferanten nicht von Kupfer, sondern von Messing war. In Folge der hohen Temperatur, bis zu welcher das Drahtseil wegen der schlechten Leitungsfähigkeit des Messings durch den Blitzschlag erwärmt worden war, war er brüchig geworden und unfähig, der gleichzeitigen Erschütterung zu widerstehen.

Am 18. August 1769 schlug der Blitz in einen Pulverthurm zu Brescia; 200 000 Pfund Pulver wurden entzündet und dadurch eine so furchtbare Explosion verursacht, dass $^1/_3$ der Häuser dieser grossen und schönen Stadt umgestürzt und die übrigen bedeutend beschädigt wurden. 3000 Menschen verloren bei dieser Katastrophe das Leben.

Im Jahre 1785 wurde ein Pulvermagazin zu Tanger, im Jahre 1807 ein solches zu Luxemburg und im Jahre 1808 eines im Fort St. Andrea del Lido zu Venedig durch den Blitz entzündet und in die Luft gesprengt.

Am 5. November 1755 schlug der Blitz in ein Pulvermagazin in der Nähe von Rouen, spaltete einen Balken des Daches und zersplitterte zwei Pulverfässer, ohne das Pulver zu entzünden.

Auf Seite 417, 418 und 419, sowie auf Seite 485 bis 488 der erwähnten Abhandlung führt Arago eine Reihe von Fällen an, in welchen der Blitz in Schiffe eingeschlagen hat. Aus dem Allen ergiebt sich, wie nothwendig es ist, Schiffe sowohl wie Gebäude durch Blitzableiter zu schützen.

Die Blitzschläge sind zu keiner Zeit gefährlicher, als in den kälteren Jahreszeiten.

Arago fand diese allgemein verbreitete Ansicht bestätigt, als er bei seiner Lectüre alle Blitzschläge notirte, welche an bestimmt bezeichneten Tagen Schiffe getroffen hatten, und nachher die so zusammengetragenen Fälle nach Monaten ordnete. Er nahm in diesem Verzeichniss (S. 417 bis 419 der Abhandlung) nur solche Fälle auf, welche sich auf der nördlichen Hemisphäre ausserhalb der Wendekreise ereigneten.

Die Zahl der mit genügendem Datum und mit bestimmter Ortsbestimmung versehenen auf Schiffe gefallenen Blitzschläge, welche er auffinden konnte, war im

Januar	5,
Februar	4,
März	1,
April	5,
Mai	0,
Juni	0,
Juli	2,
August	1,
September	2,
October	2,
November	4,
December	4.

Bedenkt man nun, dass die Gewitter im Sommer weit häufiger sind als im Winter, so unterliegt es keinem Zweifel, dass die Wintergewitter, auf dem Meere wenigstens, weit gefährlicher sind als die Sommergewitter, was wohl damit zusammenhängen mag, dass die Gewitterwolken im Winter weit tiefer ziehen als im Sommer.

Auch die oben angeführten Blitzschläge, welche den Thurm des Freiburger Münsters trafen, fanden in den Monaten Januar und April Statt.

Zweites Capitel.

Der Erdmagnetismus.

256 **Magnetische Wirkung der Erde im Allgemeinen.** Man kann die Grundlehren der Mechanik vollständig darstellen, ohne dass von der Planetenbewegung die Rede ist, man kann die gesammte Elektricitätslehre entwickeln, ohne dass man nöthig hätte, die Gewitter und die atmosphärische Elektricität in den Kreis der Betrachtung zu ziehen.

Ganz anders verhält es sich mit dem Magnetismus. Die magnetischen Erscheinungen, welche man an Magnetstäben und Magnetnadeln beobachtet, stehen in so enger Beziehung zu dem Erdmagnetismus (die Pole der Magnete haben ja von dieser Beziehung sogar ihren Namen erhalten), dass schon in der Experimentalphysik nothwendig von demselben die Rede sein muss.

Während aber dort von dem Erdmagnetismus nur so weit die Rede sein kann, als zur Begründung der Lehre vom Magnetismus überhaupt nothwendig ist, bleibt es der kosmischen Physik vorbehalten, die magnetischen Verhältnisse der Erde einer speciellen Betrachtung zu unterwerfen.

Um die Wirkung des Erdmagnetismus an irgend einem gegebenen Orte der Erdoberfläche kennen zu lernen, muss man die Richtung und die Grösse der Kraft erforschen, mit welcher er magnetische Körper afficirt. Die Richtung der magnetischen Körper ist durch Declination und Inclination gegeben; um also die magnetische Erdkraft eines Ortes zu ermitteln, hat man nur die sogenannten magnetischen Constanten derselben, nämlich Declination (Abweichung, Missweisung), Inclination und Intensität, zu bestimmen.

Hier haben wir nun ausführlicher zu besprechen, wie die magnetischen Constanten sich mit der geographischen Lage des Beobachtungsortes ändern, und welchen Variationen die magnetische Erdkraft unterworfen ist.

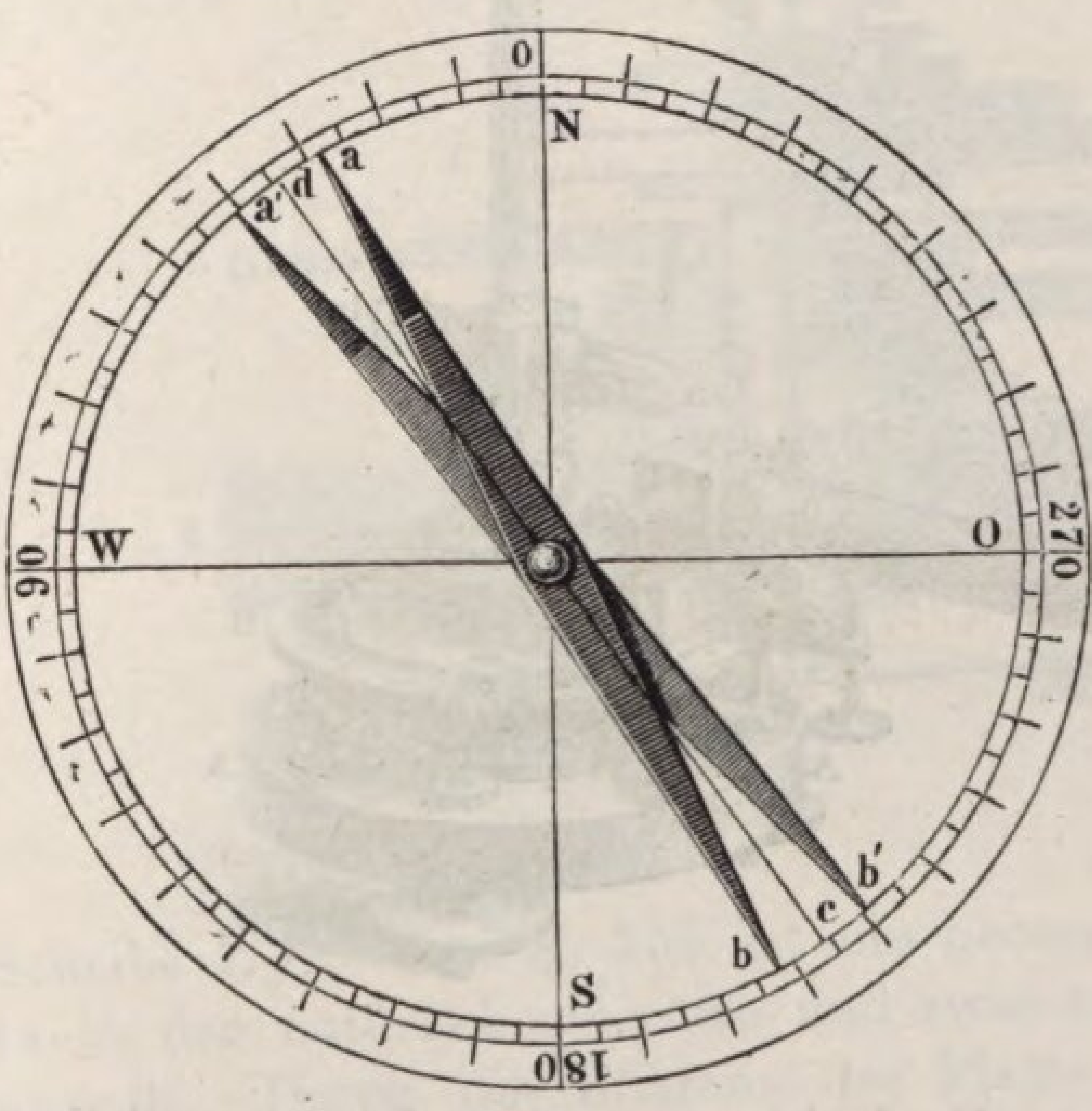
Welche Methoden anzuwenden sind, um die magnetischen Constanten eines Ortes zu ermitteln, muss der Hauptsache nach schon in der Experimentalphysik besprochen werden, doch dürfte es zweckmässig sein, hier das Wichtigste zu wiederholen.

Bestimmung der magnetischen Declination. Früher 257
wandte man zur Bestimmung der magnetischen Declination nur Apparate an, welche nach dem Principe der Declinationsbussolen construirt waren. Wenn die magnetische Axe der Nadel mit der geometrischen, d. h. mit der Verbindungslinie der beiden Spitzen zusammenfiele, so würde man an dem getheilten Kreise der Bussole unmittelbar die Declination ablesen können, vorausgesetzt, dass das Instrument so aufgestellt ist, dass die Verbindungslinie der Theilstriche 0 und 180 genau in den astronomischen Meridian fällt.

Im Allgemeinen ist aber diese Bedingung nicht erfüllt, d. h. die magnetische Axe der Nadel weicht in der Regel mehr oder weniger von der geometrischen ab. Dieser Fehler wird nun durch die Methode des Umkehrens corrigirt.

Zu diesem Zwecke ist die Nadel nicht auf ihrem Hütchen befestigt, sondern nur aufgelegt, so dass man sie abheben, umkehren (d. h. die bis dahin nach oben gerichtete Fläche nach unten wenden) und dann wieder auflegen kann. In Fig. 353 stelle z. B. ab die Lage einer horizontalen Magnetnadel dar, deren magnetische Axe in die Linie dc fällt, so ist die Gradzahl, auf welche die Spitze a der Nadel deutet, offenbar kleiner als der gesuchte Declinationswinkel. Legt man aber nun die Nadel in der angegebenen Weise um, so nimmt sie jetzt die Lage $a'b'$ an, und es deutet die Spitze a' der Nadel auf eine Gradzahl, welche um eben so viel zu gross ist, wie sie vorher zu klein war; man erhält also den wahren Werth der Declination, wenn man aus den beiden Ablesungen bei a und a' das Mittel nimmt.

Fig. 353.



Die Methode des Umlegens muss auch noch angewandt werden, wenn man die absolute Declination eines Ortes mit Hülfe von Spiegel tragenden

Magneten bestimmt (Lehrbuch der Physik, 7. Aufl. Bd. II.), da man es doch nicht wohl dahin bringen kann, dass die Ebene des Spiegels absolut rechtwinklig zu der magnetischen Axe des Magnetstabes ist. Es versteht sich von selbst, dass, wenn man die Methode des Umlegens in Anwendung bringen will, der Spiegel mit dem Magneten auf eine unveränderliche Weise verbunden sein muss, so dass er bei dem Umlegen mit umgedreht wird, mag sich nun der Spiegel am vorderen Ende des Mag-

Fig. 354.

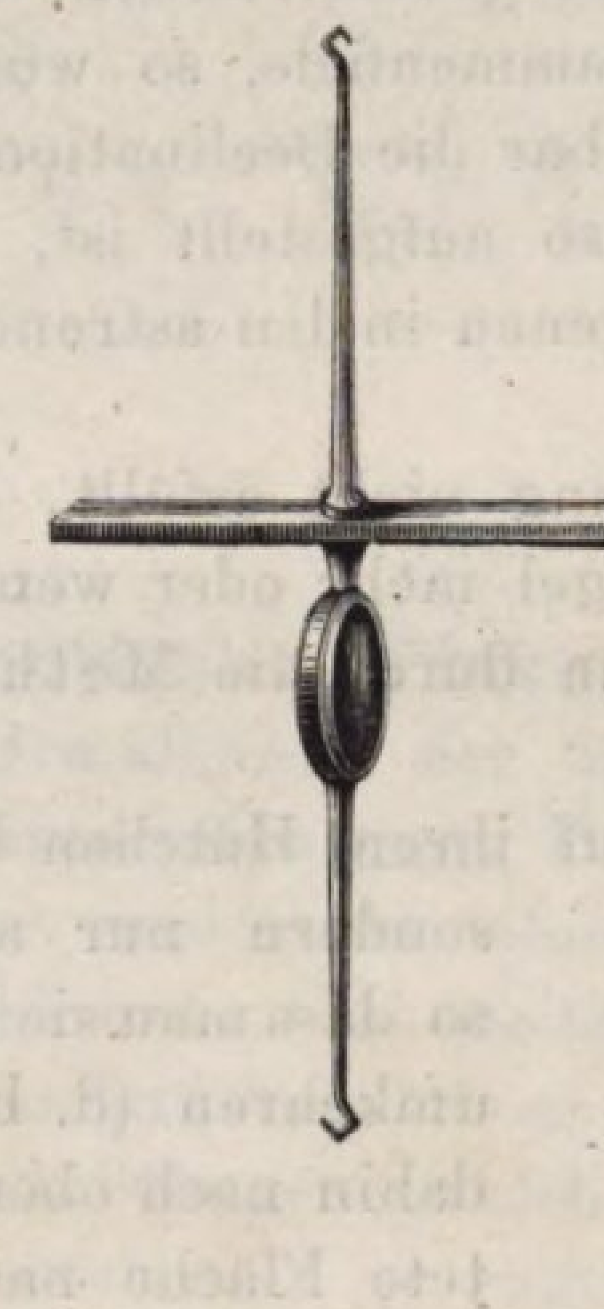
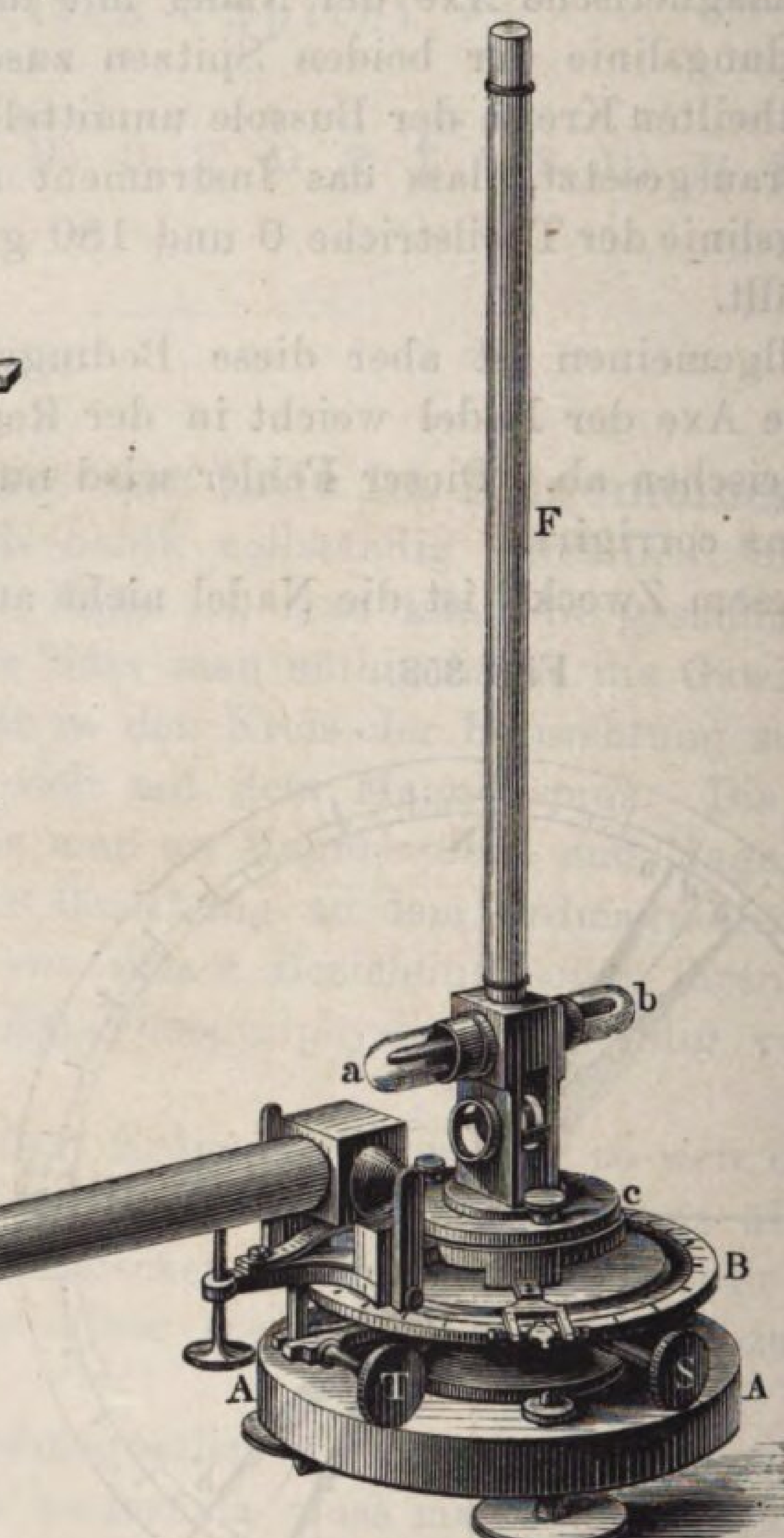


Fig. 355.



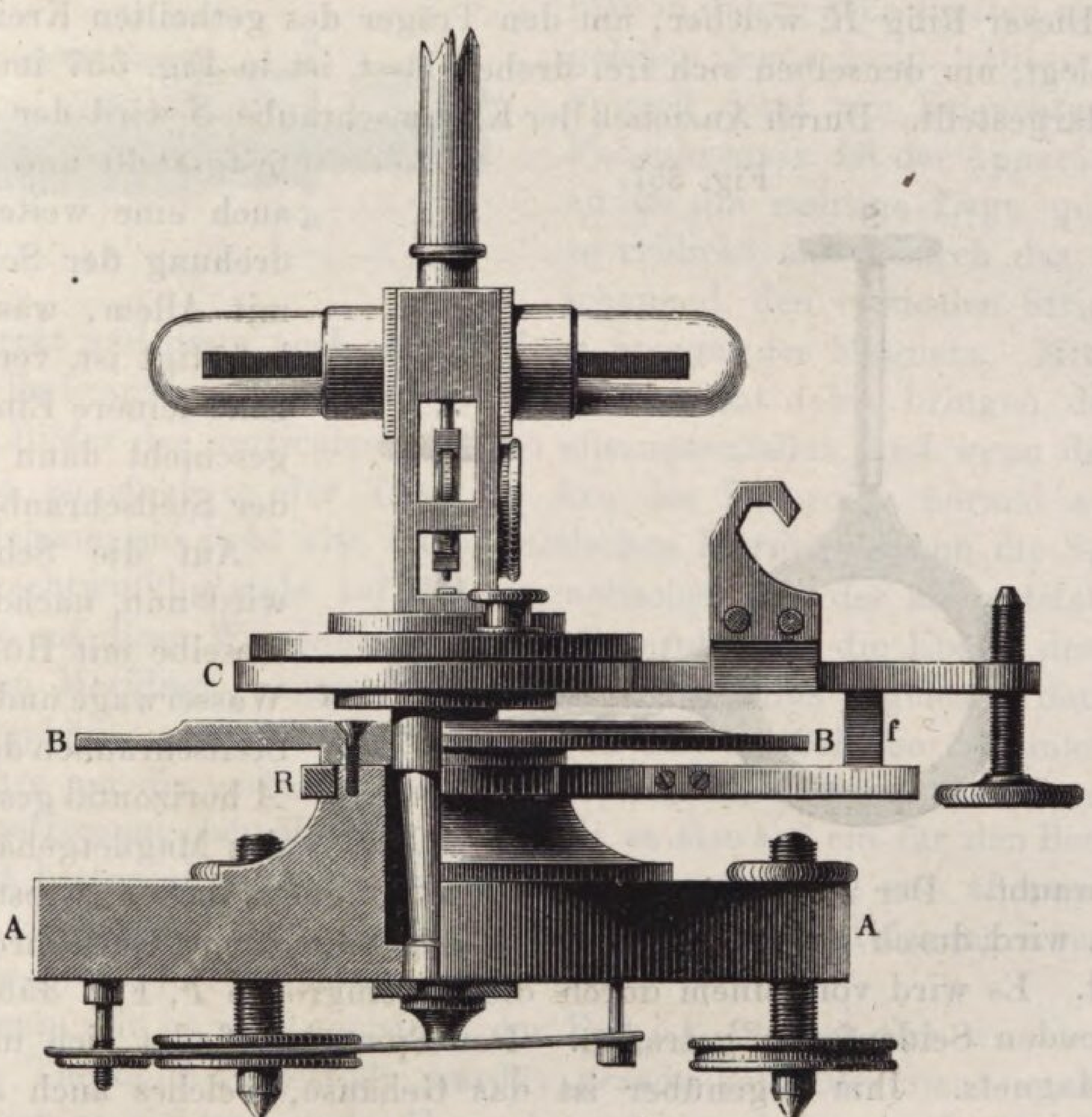
nets befinden oder an seiner Umdrehungsaxe; im letzteren Falle wird sich natürlich der Spiegel in der einen Lage über, in der anderen unter dem Magneten befinden (Fig. 354).

Da es höchst wünschenswerth ist, dass die magnetischen Constanten nicht allein für solche Orte mit Genauigkeit bestimmt werden, an welchen magnetische Observatorien errichtet worden sind, dass namentlich auch auf wissenschaftlichen Reisen dergleichen Bestimmungen gemacht werden, so ist es höchst wichtig, dass die für solche Zwecke nöthigen Apparate möglichst vereinfacht, dass sie bei grosser Genauigkeit doch compendiös

und leicht transportabel gemacht werden. In dieser Beziehung hat sich vor Allem **Lamont** durch die Construction seines **magnetischen Reisetheodoliten** grosse Verdienste erworben.

Figur 355 ist eine perspectivische Ansicht von Lamont's magnetischem Theodoliten, wie er zu Declinationsbestimmungen dient. *AA* ist eine massive messingene Platte, welche, mit drei Stellschrauben zum Horizontalrichten versehen, auf ein passendes, in unserer Figur nicht dargestelltes Stativ gestellt wird. Mit dieser Platte unveränderlich verbunden ist die am Rande mit einem getheilten Silberringe versehene

Fig. 356.



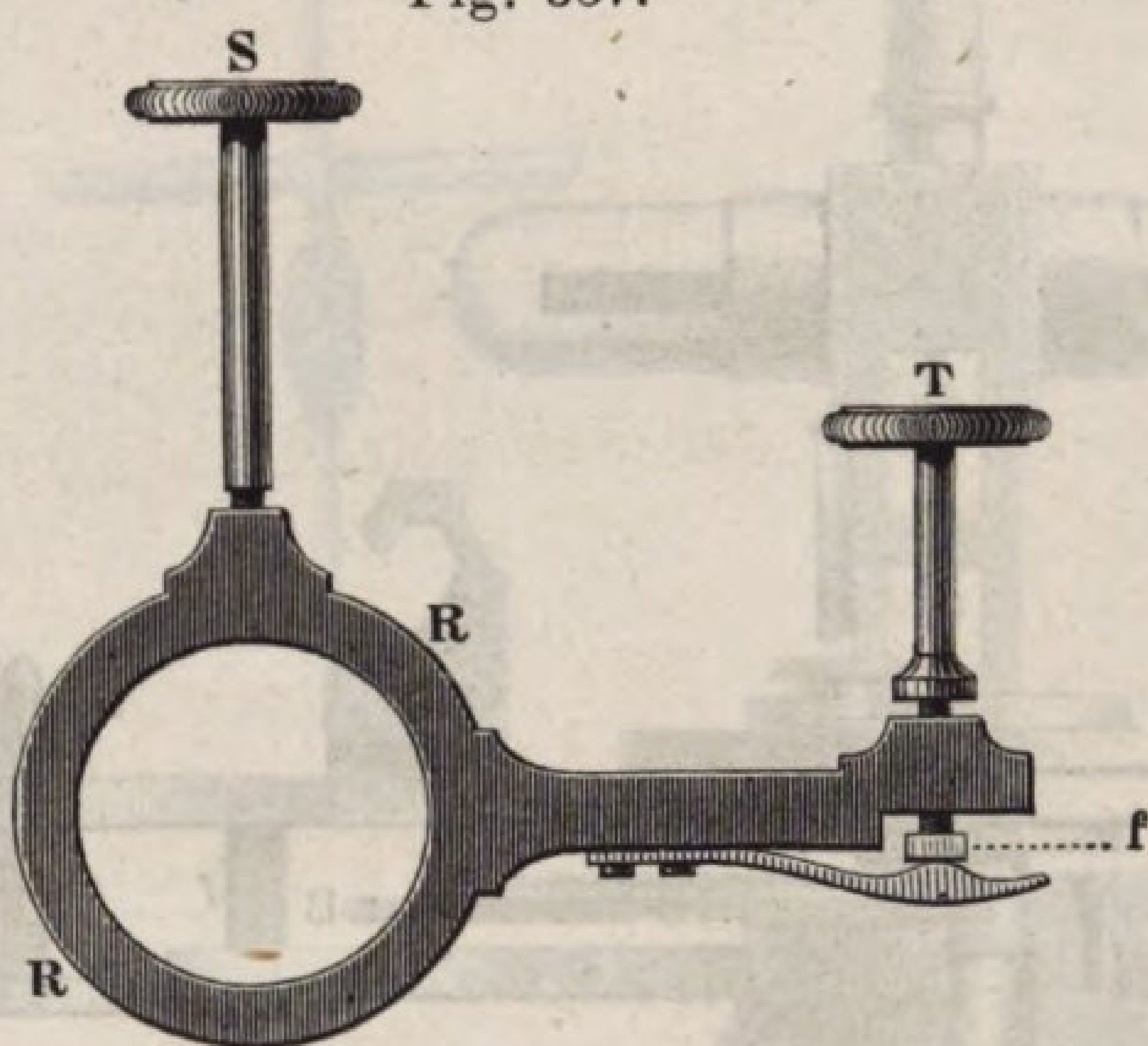
Scheibe *BB*. In Fig. 356 ist ein geometrischer Aufriss des Apparates in $1/_2$ der natürlichen Grösse und zwar zum Theil im Durchschnitt dargestellt. Durch die Höhlung der Platte *AA* hindurch geht eine verticale Axe, welche die Scheibe *C* trägt. Die Scheibe *C* kann in ihrer Ebene um diese verticale Axe gedreht werden, und diese Drehung mit Hülfe zweier Nonien (wovon der eine in Fig. 355 sichtbar ist), die an *C* befestigt sind und an seiner Drehung Theil nehmen, auf dem getheilten Kreise *B* abgelesen werden.

Die Scheibe *C* trägt eine horizontale Verlängerung, welche als Fernrohrträger dient. Eine horizontale Axe, um welche sich das Fernrohr

drehen kann, wird durch eine messingene Feder (überhaupt kommt ausser dem Magnetstäbchen am ganzen Apparat kein Eisen vor) von unten gegen den in Fig. 356 sichtbaren Haken angedrückt. Vor diesem Haken befindet sich noch eine Messingplatte, welche in Fig. 356 der Deutlichkeit wegen fortgeblieben ist, welche man aber in der perspectivischen Ansicht erkennt und welche dazu dient, eine seitliche Bewegung der Fernrohraxe zu verhindern. Ferner geht von dieser das Fernrohr tragenden Verlängerung noch ein Stäbchen f herab, welches zwischen eine Verlängerung des Ringes R und eine an demselben angeschraubte Messingfeder hineinpasst.

Dieser Ring R, welcher, um den Träger des getheilten Kreises herumgelegt, um denselben sich frei drehen lässt, ist in Fig. 357 im Grundriss dargestellt. Durch Anziehen der Klemmschraube S wird der Ring R festgestellt und dadurch auch eine weitere Umdrehung der Scheibe C mit Allem, was darauf befestigt ist, verhindert. Eine feinere Einstellung geschieht dann mittelst der Stellschraube T.

Fig. 357.



Auf die Scheibe C wird nun, nachdem man dieselbe mit Hülfe einer Wasserwage und der drei Stellschrauben der Platte A horizontal gestellt hat, das Magnetgehäuse aufgeschraubt. Der Raum, in welchem das Magnetstäbchen selbst spielen kann, wird durch zwei an den Enden zugeschmolzene Glasröhrchen gebildet. Es wird von einem durch die Messingröhre F, Fig. 355, herabhängenden Seidenfaden getragen. Der Spiegel befindet sich unterhalb des Magnets. Ihm gegenüber ist das Gehäuse, welches auch seitliche, mit Glasplatten geschlossene Oeffnungen hat, mit einer Platte von geschliffenem Spiegelglas geschlossen.

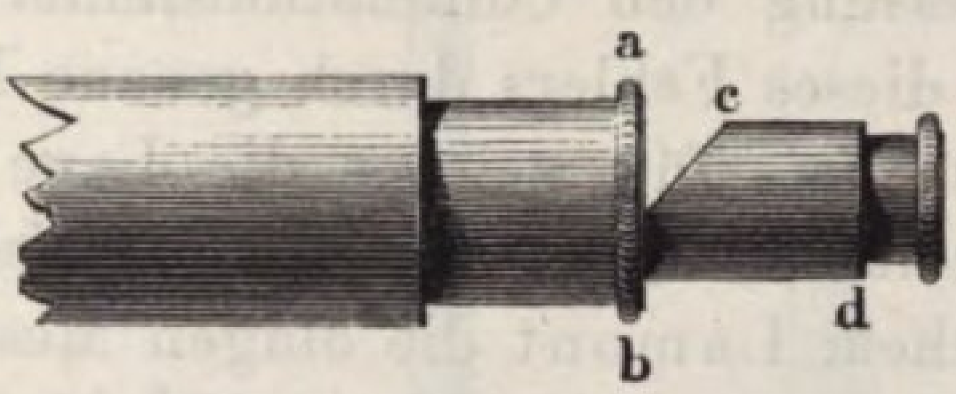
Der Magnet mit dem Spiegel hat die in Fig. 354 für sich allein abgebildete Einrichtung, wenn man sich das Stäbchen mit dem Haken wegdenkt, welches in Fig. 354 noch unter dem Spiegel angebracht ist.

Wenn man die Scheibe C sammt dem Magnetgehäuse um ihre verticale Axe so dreht, dass die horizontale Axe der beiden Glasröhren ab ungefähr in den magnetischen Meridian zu stehen kommt, so kann nun der Magnet frei spielen und sich in den magnetischen Meridian einstellen. Nehmen wir an, dass die Ebene des Spiegels genau rechtwinklig stände auf der magnetischen Axe des Magnetstabes, so würde eine auf der Ebene des Spiegels normale Linie die Richtung des magnetischen Meridians

angeben. Die Normale der Spiegelebene wird bei der richtigen Stellung des Apparates durch die Axe des Fernrohres bezeichnet, dessen eigenthümliche Einrichtung aus Fig. 358 deutlicher zu ersehen ist.

Das Objectiv des Fernrohrs ist dem Spiegel zugewendet. Da wo das vom Objectiv entworfene Bild entsteht, bei *ab*, Fig. 358, ist das Rohr durch eine Glasplatte verschlossen, auf welcher eine senkrechte und eine wagerechte feine Linie eingeritzt sind, welche die Stelle des Fadenkreuzes vertreten. Das Ocular steckt in der Hülse *cd*, welche von oben her zur Hälfte eingeschnitten ist, so dass man in diesen Einschnitten ein Spiegelchen legen kann. Dieser kleine Spiegel dient zur Erleuchtung des Fadenkreuzes. Ist der Apparat nahezu in die richtige Lage gebracht, so erblickt man, durch das Ocular schauend, den verticalen Strich einmal direct und dann noch sein Bild im Spiegel des Magnets. Mit Hülfe der Stellschraube *T* kann man es aber nun leicht dahin bringen, dass die beiden Bilder des verticalen Striches zusammenfallen, und wenn dies der Fall ist, so steht in der That die Axe des Fernrohrs normal auf der Spiegelebene; sie steht also im magnetischen Meridian, wenn die Spiegelebene rechtwinklig steht auf der magnetischen Axe des Magnetstabes.

Fig. 358.



Ist auf diese Weise die Axe des Fernrohrs in die Ebene des magnetischen Meridians eingestellt, so wird der Nonius abgelesen, dann das Magnetgehäuse vom Theodolit abgehoben und die Scheibe *C* sammt dem Fernrohre um die verticale Axe gedreht, bis die Visirlinie des Fernrohrs in dem astronomischen Meridian steht, bis es also auf ein für den Beobachtungsort bestimmtes Meridianzeichen gerichtet ist, und nun abermals der Nonius abgelesen. Der Unterschied dieser beiden Ablesungen ergiebt dann die gesuchte Declination.

Wenn, wie es wohl meistens der Fall ist, für den Ort, wo das magnetische Theodolit aufgestellt wurde, gerade kein Meridianzeichen vorhanden ist, so richtet man das Fernrohr auf irgend einen entfernten Punkt, dessen Azimut für den Beobachtungsort entweder schon bekannt ist, oder aus genauen Karten ermittelt werden kann, und bestimmt also den Winkel, welchen der magnetische Meridian mit der nach dem fraglichen Orte gerichteten Visirlinie macht.

So fand z. B. Lamont, als er am 7. October 1852 auf dem Schlossberge bei Freiburg sein Theodolit aufgestellt hatte und die Visirlinie des Fernrohrs rechtwinklig auf der Ebene des Magnetspiegels stand, dass der Nonius auf 308⁰ 22,6′ zeigte. Nach Abnahme des Magnetgehäuses wurde das Fernrohr auf die Spitze des Kirchthurms von Langendenzlingen (ungefähr zwei Stunden nördlich von Freiburg) gerichtet, und nun zeigte der Nonius auf 278⁰ 14,3′; der Unterschied der beiden Ablesungen beträgt also 30⁰ 8,3′.

Den Generalstabskarten zufolge liegt die Visirlinie von dem Beobachtungspunkte auf dem Schlossberge nach dem Kirchthurme von Denzlingen noch 12^0 43′ östlich vom astronomischen Meridian; diese 12^0 43′ sind nun noch von 30^0 8,3′ abzuziehen, und so bleibt also für die Declination der Werth 17^0 25,3′.

Dies wäre der wahre Werth der Declination, wenn die Ebene des Spiegels absolut rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magnets stände, was mit voller Genauigkeit nie erreichbar ist. Der magnetische Reisetheodolit ist nicht so eingerichtet, dass man den Magnet umlegen und alsdann mittelst einer zweiten Messung den Collimationsfehler eliminiren kann; dagegen ist die Grösse dieses Fehlers durch genaue Messung in einem magnetischen Observatorium, für welches die Lage des magnetischen Meridians bereits ermittelt ist, ein- für allemal bestimmt. Für das fragliche Instrument, mit welchem Lamont die obigen Messungen ausführte, beträgt er + 14,5′, und diese sind noch zu 17^0 25,3′ zu addiren, um den wahren Werth der Declination für Freiburg zu finden, welcher demnach für den Herbst 1852 17^0 39,8′ war.

258 **Bestimmung der Inclination.** Die Inclination lässt sich nicht so leicht direct mit Genauigkeit bestimmen als die Declination, weil es ungemein schwierig ist, zuverlässige Inclinatorien zu construiren, weshalb denn auch diese Instrumente sehr kostspielig und für öfteren Transport wenig geeignet sind. Man hat deshalb auf mannigfache Weise versucht, die Inclination auf indirectem Wege zu bestimmen. Brugmann sprach zuerst die Idee aus, den durch den Erdmagnetismus im weichen Eisen inducirten Magnetismus zur Inclinationsbestimmung anzuwenden, und eine von Lloyd auf diese Idee gegründete Methode wurde bereits in meinem Lehrbuche der Physik (7. Aufl. Bd. II., S. 41) besprochen.

In anderer Weise hat Lamont die magnetische Induction im weichen Eisen benutzt, um an seinem magnetischen Reisetheodolit eine Vorrichtung zur indirecten Bestimmung der magnetischen Inclination anzubringen.

In Fig. 359 ist das Magnetgehäuse sammt der Inclinationsvorrichtung dargestellt. Auf das Magnetgehäuse wird zunächst eine Messingplatte aufgesetzt, welche eine Hülse *h* zum Einstecken eines Thermometers *t* trägt. Auf diese Scheibe wird der massive Messingring *NN* aufgesetzt, welcher, oben und unten eben abgeschliffen, überall möglichst von gleicher Dicke ist; dieser Ring trägt seitlich zwei Arme, von denen der eine aufwärts, der andere abwärts gerichtet ist.

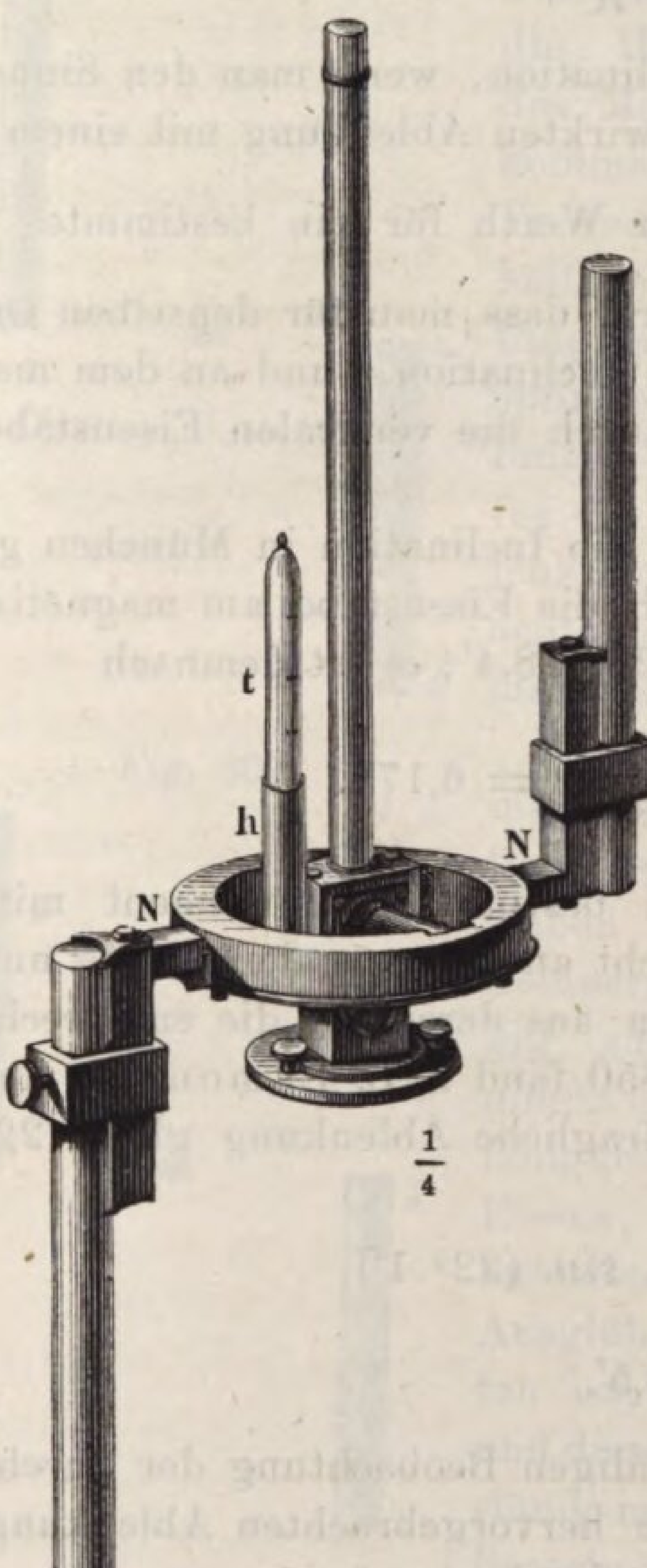
In diese zwei Arme werden zwei runde Stäbe von weichem Eisen eingesteckt und mittelst entsprechender Schrauben festgeklemmt.

Bevor man den Ring mit den Eisenstäben aufsetzt, wird das Instrument gerade so eingestellt, wie zu einer Declinationsbestimmung, d. h. so, dass, wenn man in das Fernrohr schaut, das durch den Magnetspiegel reflectirte Bild des verticalen Striches mit dem direct gesehenen zusammen-

fällt. Nun wird der Ring mit den Eisenstäben auf das Magnetgehäuse gesetzt, und zwar so, dass die Verticalebene der beiden Stäbe, durch die Mitte des Magnetstäbchens gehend, auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht.

In der Höhe des Magnetstäbchens befindet sich nun auf der einen Seite ein Nordpol (das untere Ende des nach oben gekehrten Eisenstabes), auf der anderen ein Südpol (das obere Ende des nach unten gekehrten Eisenstabes), und diese beiden magnetischen Pole bewirken im gleichen Sinne eine Ablenkung des Magnetstäbchens aus dem magnetischen Meridian. Die Grösse dieser Ablenkung erfährt man, wenn man die Platte C, Fig. 355, sammt Allem, was darauf und daran befestigt ist, um ihre verticale Axe dreht, um dem abgelenkten Magnetstäbchen zu folgen, bis die Axe des Fernrohrs wieder rechtwinklig steht auf der Ebene des Magnetspiegels, bis also die beiden Bilder des verticalen Striches wieder zusammenfallen, wenn man in das Ocular des Fernrohrs hineinschaut.

Fig. 359.



Liest man jetzt den Nonius abermals ab, so giebt die Differenz dieser und der ersten Ablesung die Grösse des Winkels, um welchen das Magnetstäbchen durch den Einfluss des in den beiden Eisenstäben inducirten Magnetismus aus dem magnetischen Meridian abgelenkt worden ist. Wir wollen diesen Ablenkungswinkel mit v bezeichnen und zunächst sehen, in welchem Zusammenhange der Werth dieses Winkels v mit der Inclination i steht.

Es sei X der horizontale und Y der verticale Erdmagnetismus, so ist die Kraft, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das um den Winkel v aus dem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetstäbchen in denselben zurückzuziehen strebt, gleich $X\ sin.\, v$.

Der in den beiden Eisenstäben inducirte Magnetismus, also auch das Drehungsmoment, welches sie auf das Magnetstäbchen ausüben, ist aber dem verticalen Erdmagnetismus proportional, dieses Drehungsmoment ist also $K\,Y$, wenn durch K ein constanter Factor bezeichnet wird. Dieses

Drehungsmoment hält aber der Kraft das Gleichgewicht, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das abgelenkte Magnetstäbchen nach dem magnetischen Meridian zurückzieht; wir haben also

$$X . sin.\ v = K Y.$$

Setzt man die Inclination gleich i, so ist $Y = X . tang.\ i$, folglich auch

$$tang.\ i = \frac{1}{K}\ sin.\ v.$$

Man erhält also die Tangente der Inclination, wenn man den Sinus der durch die verticalen eisernen Stäbe bewirkten Ablenkung mit einem constanten Factor $\frac{1}{K}$ multiplicirt, dessen Werth für ein bestimmtes Paar von Eisenstäben dadurch ermittelt wird, dass man für denselben Ort an einem zuverlässigen Inclinatorium die Inclination i und an dem magnetischen Theodolit die entsprechende durch die verticalen Eisenstäbe bewirkte Ablenkung v abliest.

So fand Lamont im Jahre 1850 die Inclination in München gleich $64^0\ 59{,}5'$ und die entsprechende durch die Eisenstäbe am magnetischen Theodolit bewirkte Ablenkung gleich $20^0\ 18{,}4'$; es ist demnach

$$\frac{1}{K} = \frac{tang.\ 64^0\ 59{,}5'}{sin.\ 20^0\ 18{,}4'} = 6{,}177.$$

Ist einmal dieser Factor für ein bestimmtes Instrument mit bestimmten Eisenstäben ermittelt, so reicht an einem anderen Orte nur die Beobachtung der Ablenkung v hin, um aus derselben die entsprechende Inclination zu berechnen. Im Jahre 1850 fand z. B. Lamont zu Aschaffenburg mit seinem Instrumente die fragliche Ablenkung gleich $22^0\ 1'$; für Aschaffenburg wäre demnach

$$tang.\ i = 6{,}177\ .\ sin.\ (22^0\ 1')$$

und darnach

$$i = 66^0\ 38{,}5'.$$

Es ist bisher nur von einer einmaligen Beobachtung der durch den inducirten Magnetismus der Eisenstäbe hervorgebrachten Ablenkung die Rede gewesen; da aber die Eisenstäbe nie absolut frei von permanentem Magnetismus sind, so ist es nothwendig, die Beobachtung in der Weise zu vervielfältigen, dass dadurch ein vom permanenten Magnetismus herrührender, sowie sonstige Fehler möglichst eliminirt werden; es geschieht dies dadurch, dass man in der Stellung der Eisenstäbe gegen das Magnetstäbchen so viel Variationen macht als möglich.

Es stelle Fig. 360 die erste Stellung dar, für welche man die Ablenkung beobachtet hat, so erhält man eine entsprechende Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite, wenn man den Ring in seiner Ebene um 180^0 dreht, so dass nun die Eisenstäbe in die Position Fig. 361 gegen die Magnetstäbchen kommen.

Kehrt man nun den Ring so um, dass die bisher untere Fläche die obere wird, so erhält man eine dritte Stellung der Eisenstäbe, Fig. 362, und eine vierte, Fig. 363, endlich, wenn man den Ring wieder in seiner Ebene um 180° dreht.

Bei diesen vier Stellungen waren die Eisenstäbe stets in gleicher Weise eingeklemmt; nun aber kann man jeden in seinem Halter umkehren, so dass die Stabenden *b* und *d* in die Horizontalebene des Magnetstäbchens kommen. Nach dieser Veränderung wiederholt man die Beobachtung in den eben besprochenen vier Stellungen und erhält so für die gesuchte Ablenkung acht Beobachtungen, aus denen man das Mittel nimmt.

Fig. 360.

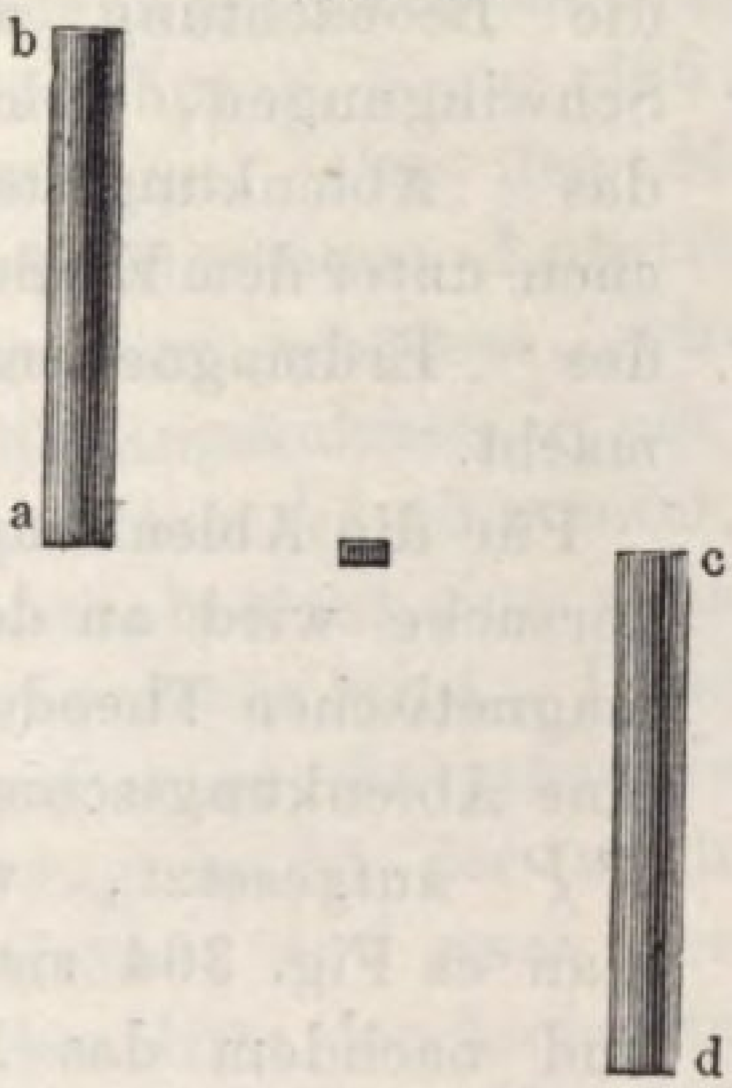


Fig. 361.

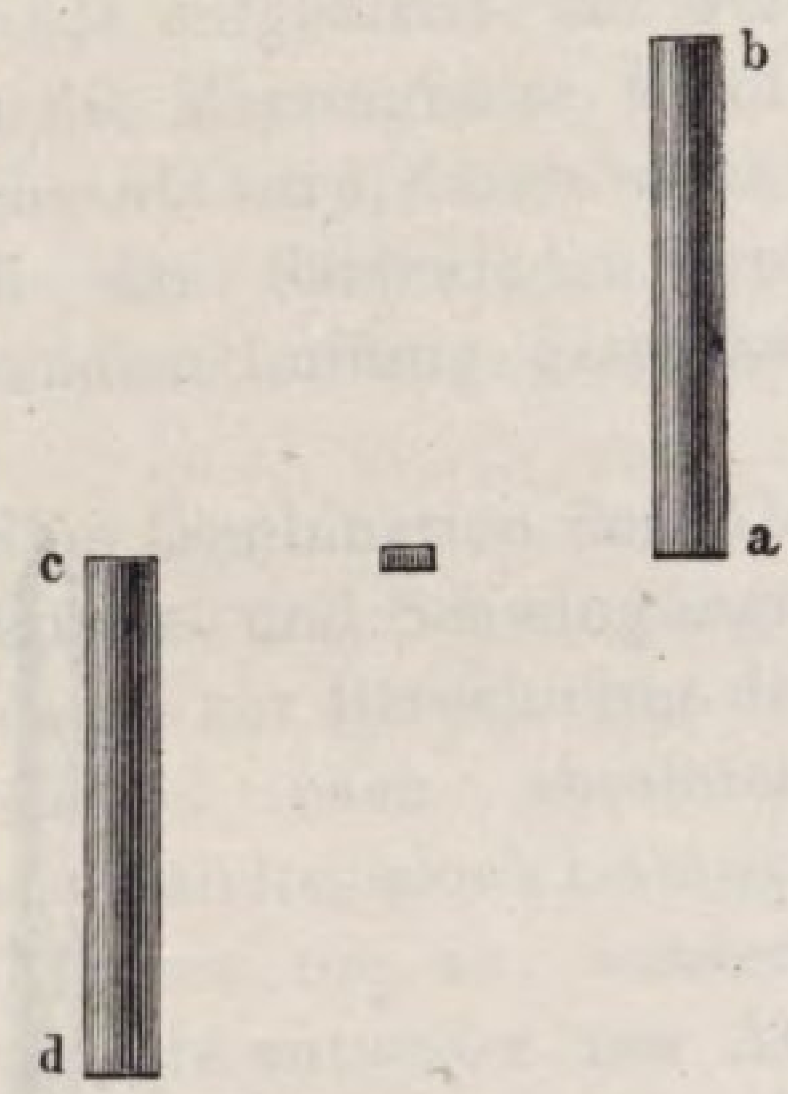


Fig. 362.

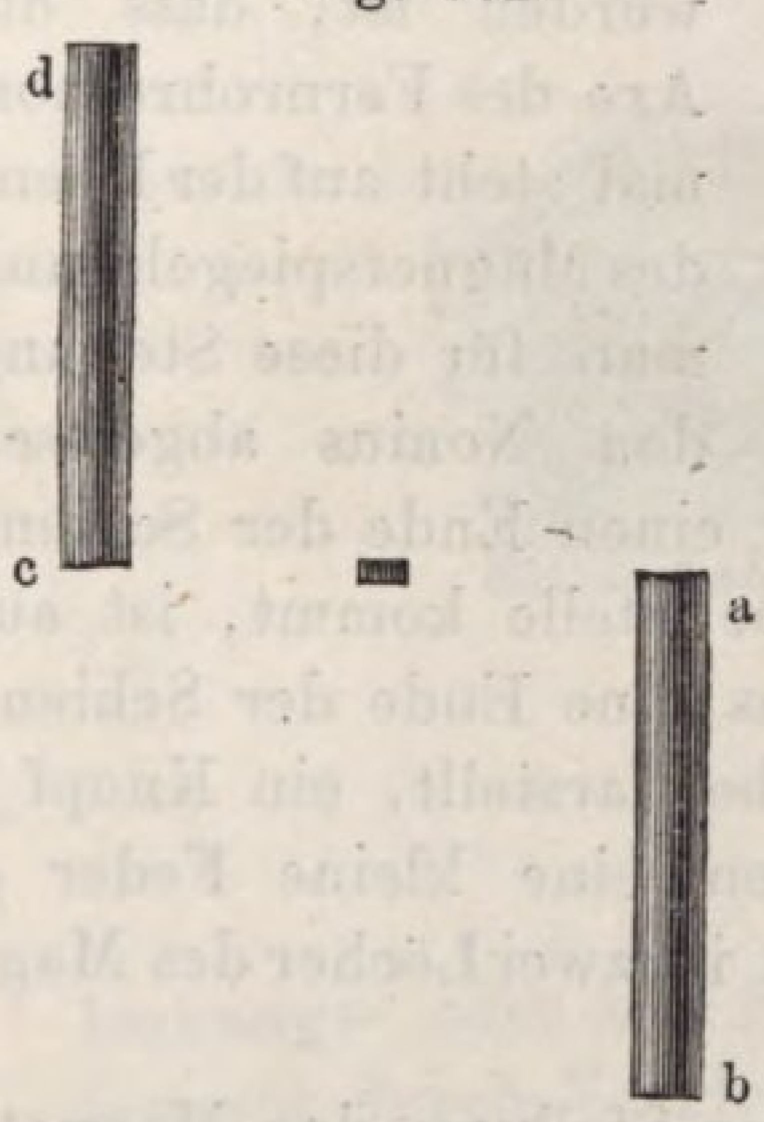
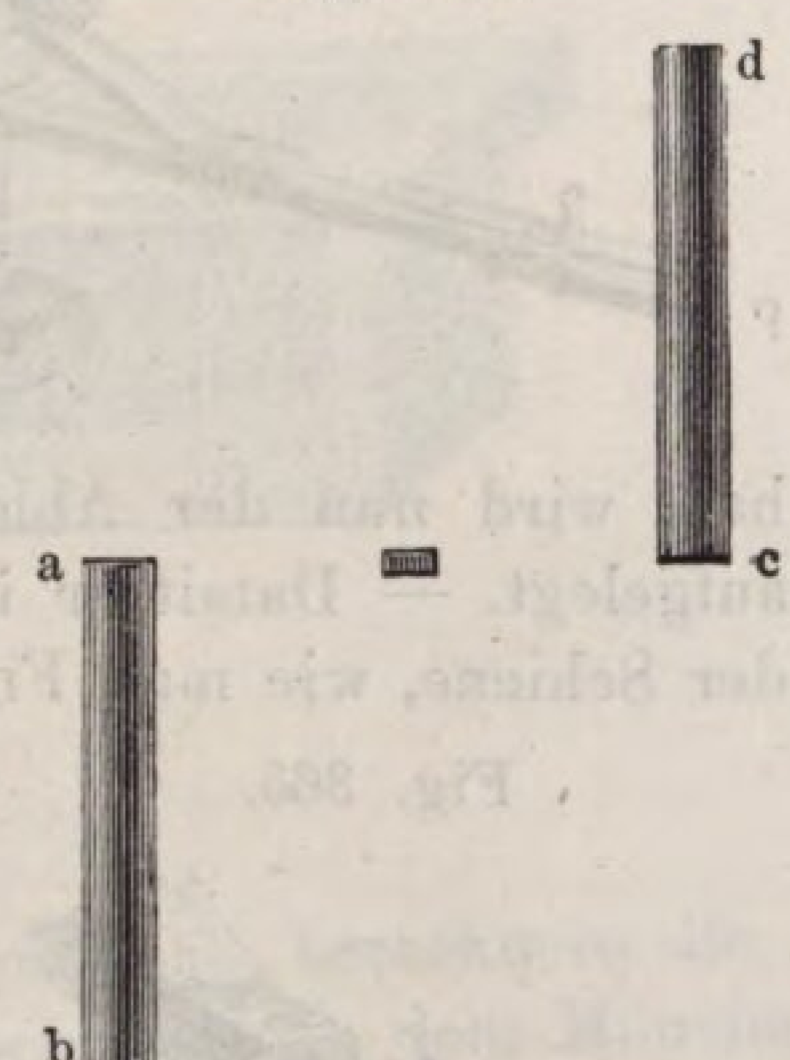


Fig. 363.



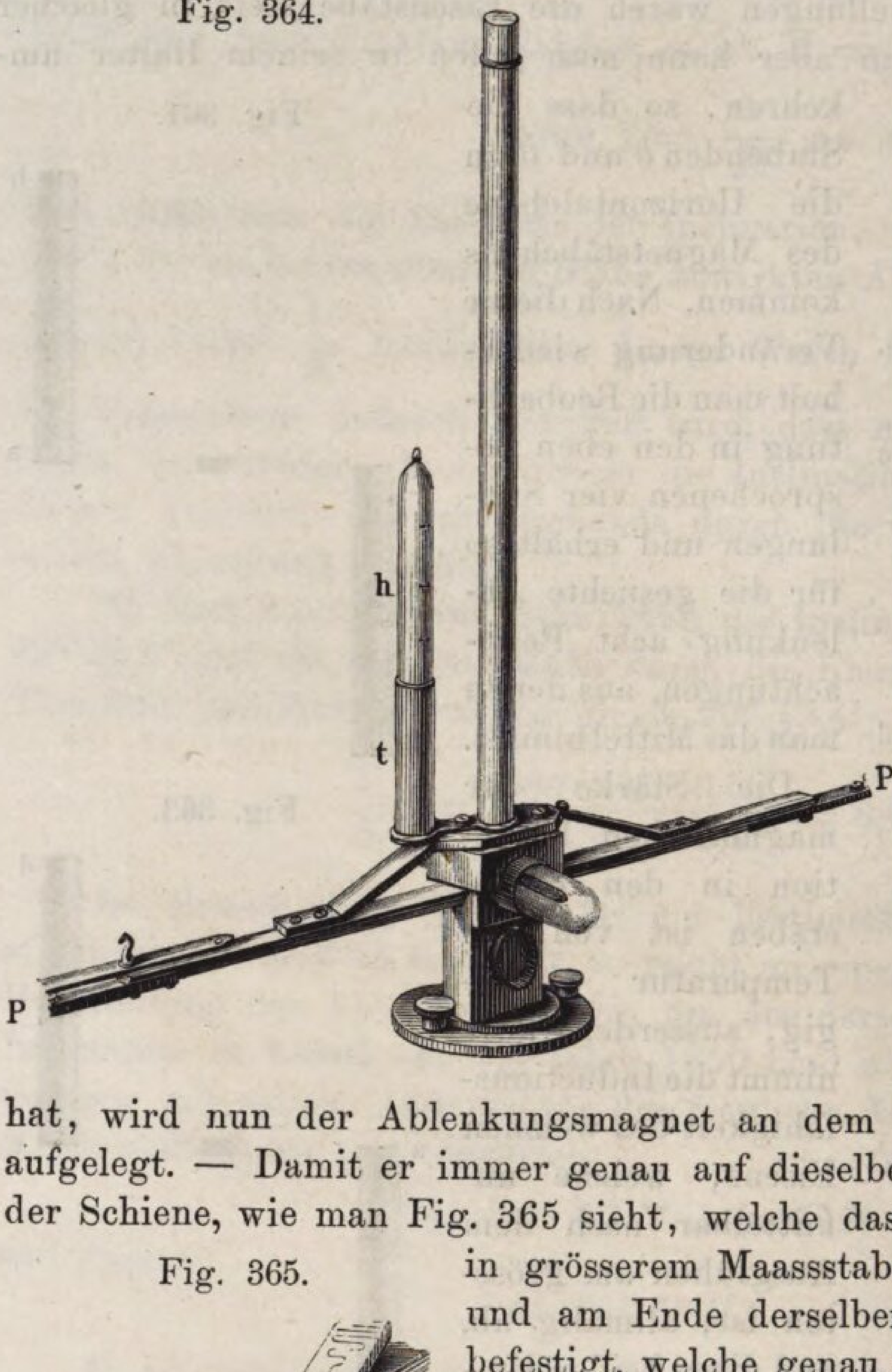
Die Stärke der magnetischen Induction in den Eisenstäben ist von der Temperatur abhängig, ausserdem aber nimmt die Inductionsfähigkeit des weichen Eisens, welche unmittelbar nach dem Ausglühen am grössten ist, allmälig ab, und diese beiden Umstände machen bei der Berechnung der Inclination Correctionen nöthig, welche nicht unbeachtet bleiben dürfen, wenn es auf grosse Genauigkeit ankommt. In Beziehung auf diese Correctionen müssen wir auf die von Lamont in seiner „Beschreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate“ gegebene Auseinandersetzung verweisen.

Bestimmung der horizontalen Intensität. Die Methode, 259
welche man anzuwenden hat, um die horizontale Intensität nach absolutem Maasse zu bestimmen, ist bereits im Lehrburch der Physik besprochen worden. An seinem magnetischen Theodolit hat nun Lamont

diejenigen Vorrichtungen angebracht, welche zu einer solchen Bestimmung der Intensität nothwendig sind.

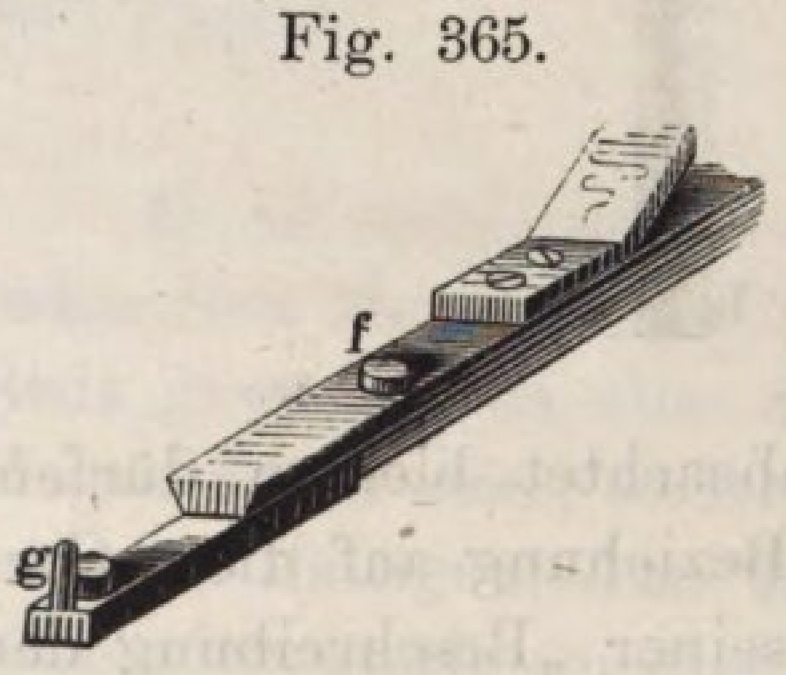
Die Bestimmung der Intensität nach absolutem Maass erfordert zwei gesonderte Beobachtungen, nämlich 1) die Beobachtung der Ablenkung, welche ein Magnetstab an einer Declinationsnadel bewirkt, und 2) die Beobachtung der Schwingungen, welche das Ablenkungsstäbchen unter dem Einfluss des Erdmagnetismus macht.

Fig. 364.



Für die Ablenkungsversuche wird an dem magnetischen Theodolit eine Ablenkungsschiene *PP* aufgesetzt, wie man es Fig. 364 sieht, und nachdem das Instrument so eingestellt worden ist, dass die Axe des Fernrohrs normal steht auf der Ebene des Magnetspiegels, und man für diese Stellung den Nonius abgelesen hat, wird nun der Ablenkungsmagnet an dem einen Ende der Schiene aufgelegt. — Damit er immer genau auf dieselbe Stelle kommt, ist auf der Schiene, wie man Fig. 365 sieht, welche das eine Ende der Schiene in grösserem Maassstabe darstellt, ein Knopf *f* und am Ende derselben eine kleine Feder *g* befestigt, welche genau in zwei Löcher des Magnetstäbchens passen.

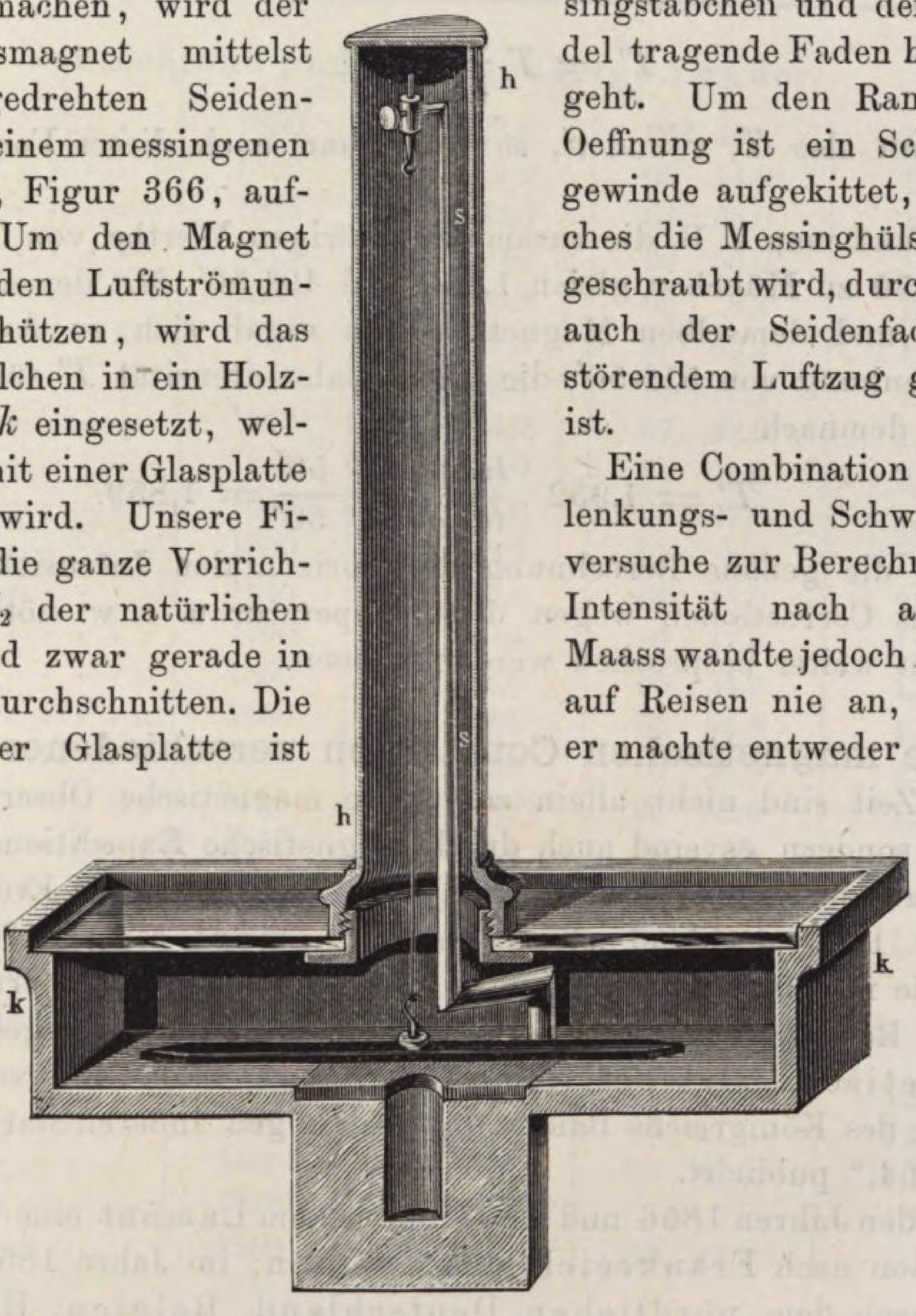
Fig. 365.



Hat man die dieser Stellung des Magnets entsprechende Ablenkung abgelesen, so wird der Ablenkungsmagnet so umgelegt, dass sein Nordpol dahin kommt, wo eben sein Südpol lag, und umgekehrt, und abermals die nun nach entgegengesetzter Seite gerichtete Ablenkung abgelesen. Ist dies geschehen, so wird der Ablenkungsmagnet auf das entgegengesetzte Ende der Ablenkungsschiene gebracht und für die dort möglichen beiden Stellungen des Ablenkungsmagnets ebenfalls die entsprechende Ablenkung abgelesen. So erhält man für die Ablenkung vier Werthe, aus denen das Mittel genommen und in Rechnung gebracht wird.

Die Gesammtlänge der Ablenkungsschiene beträgt 34, die Länge des Ablenkungsmagnets beträgt 8 Centimeter.

Fig. 366.



Um die Schwingungsversuche zu machen, wird der Ablenkungsmagnet mittelst eines ungedrehten Seidenfadens an einem messingenen Säulchen *s*, Figur 366, aufgehängt. Um den Magnet vor störenden Luftströmungen zu schützen, wird das Messingsäulchen in ein Holzkästchen *kk* eingesetzt, welches oben mit einer Glasplatte zugedeckt wird. Unsere Figur zeigt die ganze Vorrichtung in $^1/_2$ der natürlichen Grösse, und zwar gerade in der Mitte durchschnitten. Die Mitte dieser Glasplatte ist durchbohrt, so dass das Messingstäbchen und der die Nadel tragende Faden hindurchgeht. Um den Rand dieser Oeffnung ist ein Schraubengewinde aufgekittet, auf welches die Messinghülse *h* aufgeschraubt wird, durch welche auch der Seidenfaden vor störendem Luftzug geschützt ist.

Eine Combination der Ablenkungs- und Schwingungsversuche zur Berechnung der Intensität nach absolutem Maass wandte jedoch Lamont auf Reisen nie an, sondern er machte entweder nur Ablenkungs- oder nur Schwingungsbeobachtungen und berechnete die Intensität durch Vergleichung mit den entsprechenden in dem Münchener Observatorium angestellten Beobachtungen.

Sind T und v die zusammengehörigen Werthe der horizontalen Intensität und der Ablenkung, so haben wir

$$\frac{M}{T} = r^3 \, tang. \, v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1),$$

wenn M die Stärke des Stabmagnetismus bezeichnet. Für einen anderen Ort, dessen horizontale Intensität T' ist, sei die entsprechende durch dasselbe Magnetstäbchen an demselben Instrument bewirkte Ablenkung v', so ist

$$\frac{M}{T'} = r^3 \, tang. \, v' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2),$$

und wenn man die Gleichung 2) in die Gleichung 1) dividirt,

$$\frac{T'}{T} = \frac{tang.\ v}{tang.\ v'},$$

oder

$$T' = T\,\frac{tang.\ v}{tang.\ v'};$$

kennt man also T, v und v', so kann man nach dieser Formel T' berechnen.

So fand man z. B. die zusammengehörigen Werthe von T und v im Jahre 1850 zu München gleich 1,952 und 49° 50′. Mit demselben Reisetheodolit und demselben Magnetstäbchen ergab sich zu Aschaffenburg eine Ablenkung von 51° 50′, die horizontale Intensität T' für Aschaffenburg ist demnach

$$T' = 1{,}952\ .\ \frac{tang.\ 49^0\ 50'}{tang.\ 51^0\ 50'} = 1{,}859.$$

Für die genaue Berechnung der horizontalen Intensität sind nun gleichfalls Correctionen wegen der Temperatur u. s. w. nöthig, welche hier nicht weiter besprochen werden können.

260 **Die magnetischen Constanten verschiedener Orte.** In neuerer Zeit sind nicht allein zahlreiche magnetische Observatorien errichtet, sondern es sind auch durch magnetische Expeditionen die magnetischen Constanten an den verschiedensten Orten der Erde bestimmt worden. In Deutschland ist namentlich Lamont seit 1849 rastlos bemüht, die magnetischen Constanten verschiedener Orte zu ermitteln, und hat die Resultate magnetischer Excursionen in einem eigenen Werke: „Magnetische Ortsbestimmungen, ausgeführt an verschiedenen Punkten des Königreichs Baiern und an einigen anderen Stationen. München 1854,“ publicirt.

In den Jahren 1856 und 1857 unternahm Lamont eine magnetische Expedition nach Frankreich und Spanien; im Jahre 1858 aber eine solche nach dem nördlichen Deutschland, Belgien, Holland und Dänemark. Den Bericht über diese Reisen und die Resultate derselben hat er in seinen „Untersuchungen über die Richtung und Stärke des Erdmagnetismus u. s. w., München 1858 und 1859“ niedergelegt. Die folgende Tabelle enthält die magnetischen Constanten für eine Reihe von Orten, für welche sie am genauesten bestimmt sind. Diese Tabelle ist Lamont's „Astronomie und Erdmagnetismus, Stuttgart 1851,“ entnommen, nur sind nach den oben citirten „Magnetischen Ortsbestimmungen“ neuere Bestimmungen für ältere Zahlen gesetzt worden.

Namen des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	Horizontale Intensität.
I. Deutschland und dazu gehörige Länder.				
Aschaffenburg	1850	17⁰ 28,6′	66⁰ 43,4′	1,855
Augsburg	1850	16 15,0	65 14,9	1,937
Berlin	1845	16 32,0	67 35,0	1,780
Bregenz	1845	17 20,0	64 56,0	1,950
Carlsruhe	1850	17 30,3	66 8,4	1,891
Darmstadt	1850	17 9,9	66 59,4	1,820
Freiburg	1850	17 39,3	65 28,4	1,934
Göttingen	1845	17 43,0	67 32,0	1,785
Hermannstadt	1845	10 6,0	61 21,0	2,171
Krakau	1845	12 15,0	65 27,0	1,931
Leipzig	1850	15 43,8	67 5,0	1,831
Mailand	1845	17 0,0	63 13,0	2,037
Marburg	1850	17 40,4	67 17,8	1,824
München	1850	16 13,6	65 24,9	1,925
Nürnberg	1850	16 19,5	65 54,8	1,902
Ofen	1845	12 52,0	63 20,0	2,036
Prag	1850	14 38,3	66 52,0	1,892
Speyer	1850	17 35,6	66 20,8	1,881
Venedig	1845	14 4,0	64 22,0	2,036
Wien	1850	13 33,5	64 22,0	1,995
II. Grossbritannien, Frankreich, Belgien, Holland.				
Brüssel	1850	20⁰ 40,7′	67⁰ 54,8′	1,771
Dublin	1845	27 0,0	69 41	1,689
Greenwich	1850	22 29,5	68 48,0	1,739
Leiden	1845	20 52,0		1,723
Paris	1850	20 35,8	66 42,2	1,858
III. Russland und die skandinavischen Länder.				
Barnaul	1842	— 8⁰ 25′	70⁰ 7′	2,051
Catharinenburg	1842	— 6 39	69 53	1,838
Christiania	—	+ 19 50	72 7	1,547
Jakutzk	—	— 5 50	74 18	1,571
Irkutzk	—	— 1 38	68 14	2,134
Kasan	1842	— 3 24	68 22	1,877
Moskau	—	+ 3 2	68 57	1,762
Nertschinsk	1842	+ 3 44	67 8	2,206
Petersburg	1842	+ 6 21	71 0	1,658
Reikiawig	—	+ 43 14	77 0	. . .
Spitzbergen	—	+ 25 12	81 11	0,836
Tiflis	1845	+ 1 32		2,554

Namen des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	Horizontale Intensität.
		IV. Südeuropa.		
Gibraltar	1840	21° 40′	59° 40′	2,289
Palermo	1835	16 3	57 16	2,435
		V. Afrika.		
Algier	1842	18° 35′	+ 57° 21′	2,373
Cap der guten Hoffnung	1842	29 13	— 53 20	2,115
St. Helena	1842	23 32	— 21 52	2,734
Port Louis (Mauritius) .	1845	9 44	— 53 56	2,377
		VI. Südasiatische Länder.		
Bombay	1845		+ 18° 12′	3,631
Macao	1841	— 0 35	+ 30 1	3,428
Madras	1837		+ 6 52	3,577
Manilla	1840	— 0 18	+ 16 27	3,709
Peking		+ 1 48	+ 54 49	2,925
Singapore	1841	— 1 39	— 12 1	3,671
		VII. Nordamerika.		
Acapulco	1838	— 8° 23′	+ 37° 57′	3,672
Albany	1840	+ 6 58	74 48	1,658
Buffalo-See	1837	+ 1 25	74 38	. . .
Cambridge	1840	+ 9 12	74 19	. . .
Cincinnati	1840	— 4 46	70 27	2,095
Fort Vancouver	1839	— 19 22	69 22	2,040
Hudson	1840	— 1 52	72 48	. . .
Mont-Real	1835	+ 9 50	77 9	1,389
New-York	1840	+ 5 34	72 39	. . .
Port Etches	1837	— 31 38	76 3	. . .
Santa Barbara	1839	— 13 28	58 54	. . .
San Francisco	1838	— 15 20	62 0	2,526
Sitka	1845	— 28 53	75 51	1,466
St. Louis	1835	— 8 49	69 28	. . .
Washington	1842	+ 1 24	71 14	2,007

Namen des Ortes.	Jahr.	Declination.	Inclination.	Horizontale Intensität.
		VIII. Südamerika.		
Bahia	—	+ 4° 18′	+ 5° 24′	3,036
Callao	1838	— 10 44	— 6 14	3,403
Chiloe	—	— 18 0	— 49 26	2,975
Gallopagos-Insel	1839	— 9 30	+ 9 29	. . .
Monte-Video	—	— 12 0	— 35 40	3,009
Panama	1837	— 7 2	+ 31 52	3,575
Pernambuco	—	+ 5 54	+ 13 13	. . .
Rio-Janeiro	—	— 2 8	— 13 30	. . .
Valparaiso	—	— 15 18	— 39 7	. . .
		IX. Australien.		
Aukland-Insel	1841	— 15° 29′	— 73° 10′	1,893
Bai of Island (Neu-Seeland)	1842	— 13 36	— 59 32	. . .
Hobartown	1846	— 9 55	— 70 36	2,070
King George's Sound . .	1845	— 5 33	— 65 4	. . .
Point Venus (Otaheiti) .	1840	— 6 30	— 30 18	3,417
Port Louis (Falklands Inseln)	1842	— 17 36	— 52 26	. . .
Sydney	1842	— 9 51	— 62 49	2,712

In dieser Tabelle bezeichnet — eine östliche Declination und eine südliche Inclination, das Zeichen + dagegen oder kein Vorzeichen westliche Declination und nördliche Inclination.

Magnetische Curven. So wie durch die Isothermen die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche anschaulich gemacht wird, so lassen sich auch die magnetischen Verhältnisse durch entsprechende Curvensysteme darstellen. Die Wirkung, welche der Erdmagnetismus an irgend einem Orte der Erde ausübt, ist durch Declination, Inclination und Intensität bestimmt und dem entsprechend hat man auf Karten drei verschiedene Systeme magnetischer Curven aufgetragen, welche man die isogonischen, die isoklinischen und die isodynamischen genannt hat. 261

Die isogonischen Linien sind diejenigen, für welche in allen Punkten die Declination dieselbe ist; solche Karten, in welche man die isogonischen Linien aufgetragen hat, nennt man Declinationskarten.

Die erste Karte der Art hatte Halley im Jahre 1700 construirt. In einem Werke, welches im Jahre 1819 unter dem Titel „Untersuchungen über den Erdmagnetismus“ erschien, publicirte Hansteen eine Reihe von Declinationskarten, welche er nach dem vorhandenen Beob-

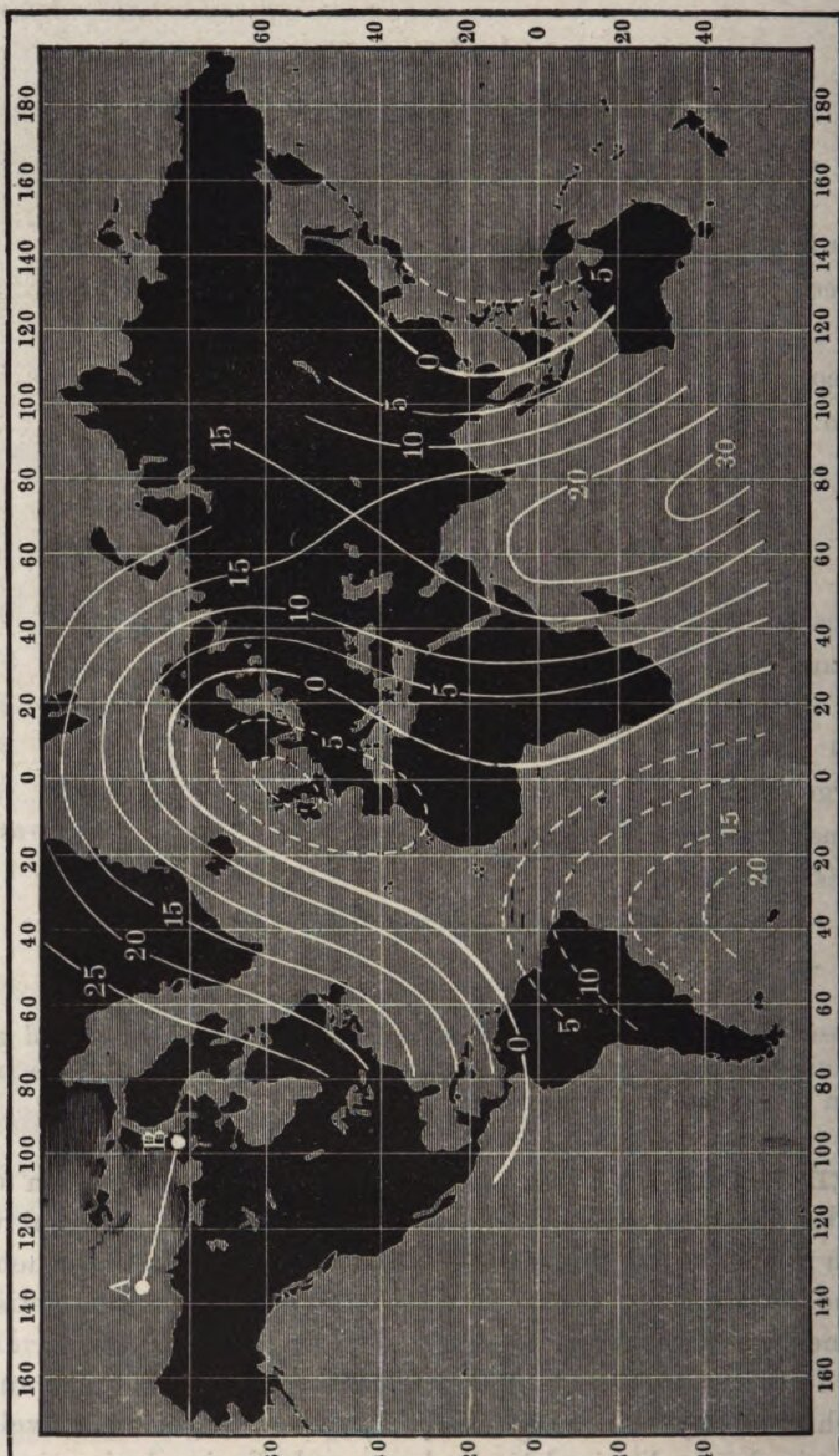


Fig. 367.

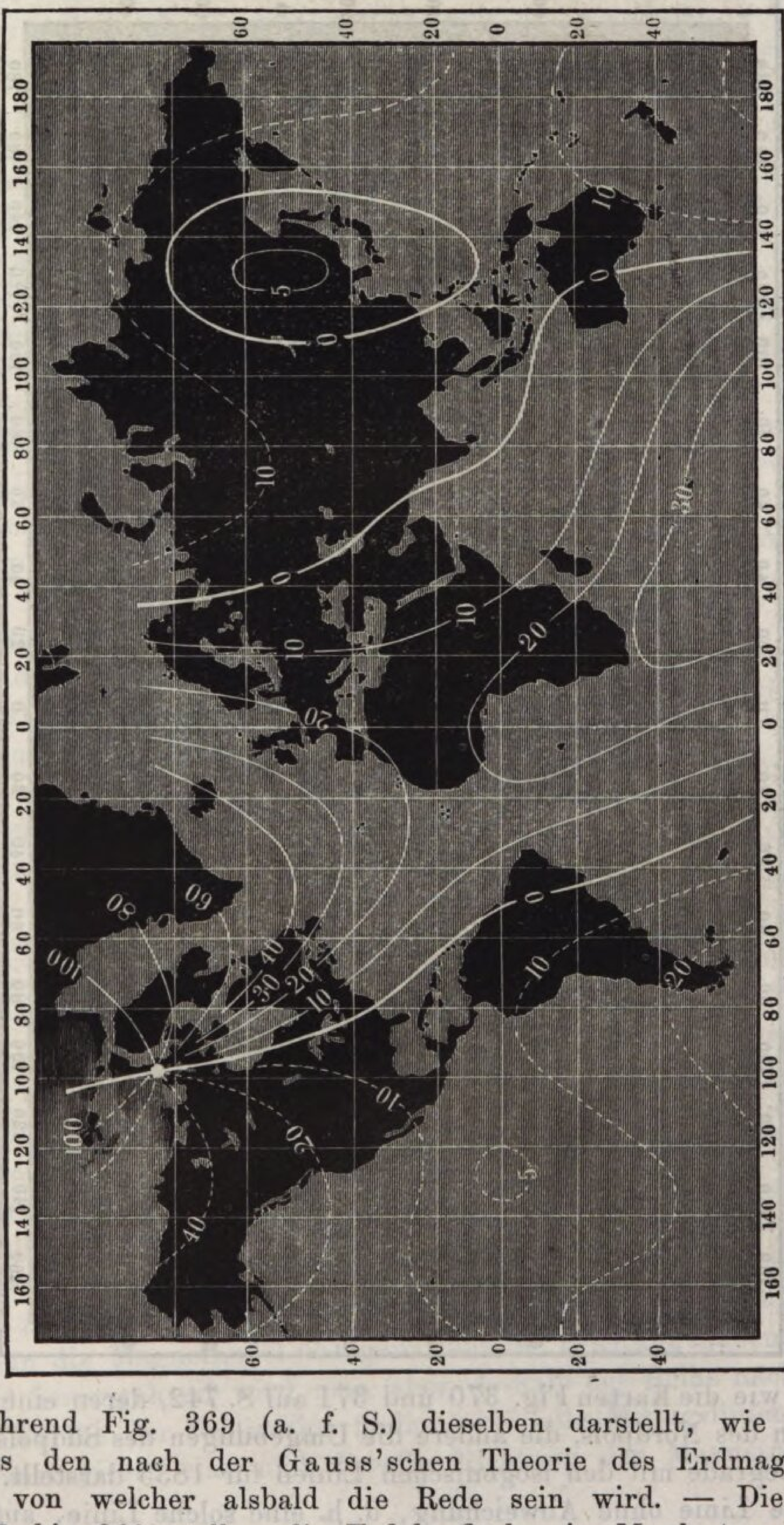
Declinationskarte für 1600.

achtungsmaterial für verschiedene Zeitpunkte, unter anderen auch für die Jahre 1600, 1700 und 1800 construirt hatte. Die Vergleichung dieser Karten zeigt deutlich, wie sich die Lage der isogonischen Linien im Laufe der Zeit verändert. Fig. 367 ist eine verkleinerte Copie der

Hansteen'schen Declinationskarte für das Jahr 1600. Die punktirten Curven sind Linien gleicher östlicher Declination. Die nach Graden gemessene Grösse der Declination ist jeder Curve beigeschrieben.

Fig. 368 stellt den Lauf der isogonischen Linien für das Jahr 1860

Fig. 368.

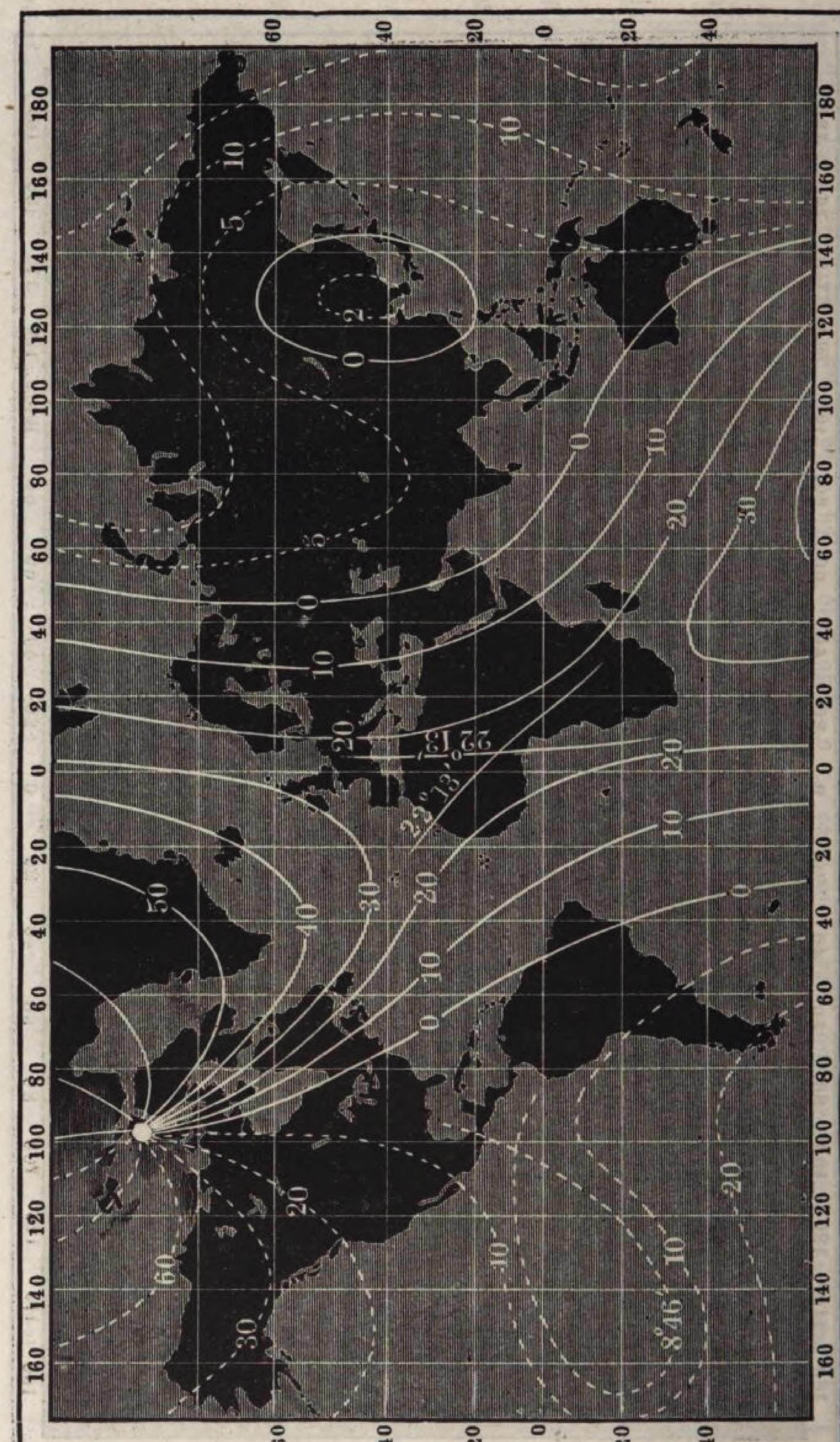


Declinationskarte für 1860.

dar, während Fig. 369 (a. f. S.) dieselben darstellt, wie sich ihr Lauf aus den nach der Gauss'schen Theorie des Erdmagnetismus ergiebt, von welcher alsbald die Rede sein wird. — Die Karten Fig. 367 bis 369 stellen die Erdoberfläche in Merkatorprojection

vom 80. Grade nördlicher bis zum 60. Grade südlicher Breite dar. Solche Karten können der Natur der Sache nach die beiden Erdpole nicht enthalten. Will man den Verlauf der isogonischen Linien in der Nähe der Pole verfolgen, so muss man Karten in Polarprojection an-

Fig. 369.



Declinationskarte für 1835.

wenden, wie die Karten Fig. 370 und 371 auf S. 742, deren eine die Umgebungen des Nordpols, die andere die Umgebungen des Südpols bis zum 60. Breitegrade mit den isogonischen Linien für 1835 darstellt.

Eine Linie ohne Abweichung, d. h. eine solche Linie, auf welcher

überall die Richtung der horizontalen Magnetnadel mit der Richtung des astronomischen Meridians zusammenfällt, schnitt 1835 die östliche Spitze von Südamerika ab, lief östlich von Westindien durch den atlantischen Ocean, um in der Gegend von Philadelphia in den Continent von Amerika einzutreten und durch die Hudsonsbai hindurch zu laufen; dann passirte diese Linie ohne Abweichung den magnetischen und den astronomischen Nordpol der Erde, trat östlich vom weissen Meere in den Continent der alten Welt ein, ging durch das caspische Meer, schnitt die Ostspitze von Arabien ab, wandte sich dann nach Neuholland, um endlich durch den magnetischen und astronomischen Südpol der Erde in sich selbst zurückzulaufen.

In der Karte Fig. 369 erscheinen zwei Stücke dieser Linie getrennt von einander; die Verbindungsstücke dieser beiden Theile kann man auf den Karten Fig. 370 und 371 verfolgen.

Diese Linie ohne Abweichung, welche um die ganze Erde herumläuft, theilt die Erdoberfläche in zwei Theile; auf der einen Hälfte, nämlich auf dem atlantischen Ocean, in Europa und Afrika, ist die Abweichung der Magnetnadel überall eine westliche; auf der anderen Hälfte ist die Abweichung östlich, mit Ausnahme einer kleinen Strecke im östlichen Asien und dem angränzenden Meere, denn hier findet sich eine zweite in sich selbst zurücklaufende Linie, für welche die Abweichung Null ist, und auf dem durch diese Curve eingeschlossenen Raume ist die Abweichung wieder westlich.

In der Nähe der Pole bilden die isogonischen Linien ein ziemlich complicirtes System, indem sie in zwei Punkten, nämlich in dem magnetischen und in dem astronomischen Pole, zusammenlaufen; dies rührt jedoch nicht daher, dass die magnetischen Erscheinungen in jenen Gegenden so complicirt sind, sondern nur daher, dass bei der Bestimmung der Declination ein dem Magnetismus selbst eigentlich ganz fremdes Element, nämlich die Richtung des astronomischen Meridians, in Betrachtung zu ziehen ist; durch diese Einmischung geht die Einfachheit verloren. Der magnetische Pol, in welchem alle isogonischen Linien zusammenlaufen, ist allerdings ein magnetisch ausgezeichneter Punkt; denn denken wir uns ganz in der Nähe dieses Pols um denselben einen Kreis gezogen, so wird für alle Punkte dieses Kreises die horizontale Magnetnadel nach diesem Pole hin gerichtet sein; der Nordpol und der Südpol der Erde sind aber durchaus keine magnetisch ausgezeichneten Punkte, obgleich die isogonischen Linien sich in diesen Polen schneiden; sehen wir nun, woher dieses kommt. Auf dem Nordpole selbst fällt die Richtung der horizontalen Magnetnadel sehr nahe mit der Richtung des 60. Längengrades zusammen; in der Nähe dieses Pols rings um denselben herum wird nun die Magnetnadel fast ganz dieselbe Richtung haben, rings um den Pol herumgehend wird man aber deshalb der Reihe nach alle möglichen Werthe der Declination finden, weil alle Mittagslinien nach dem Pole convergiren; eine und dieselbe Richtung der Magnetnadel macht

Fig. 370.

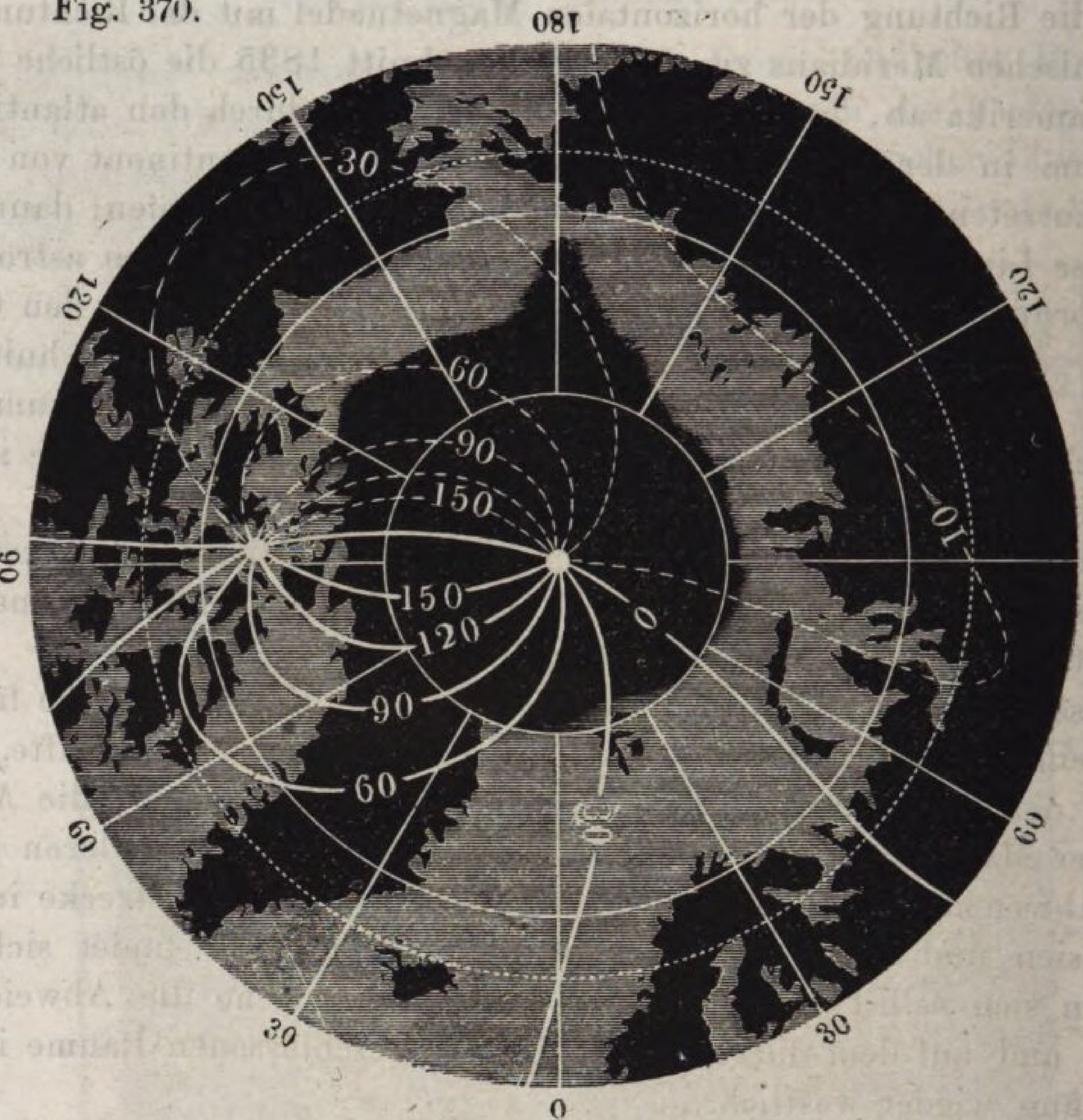
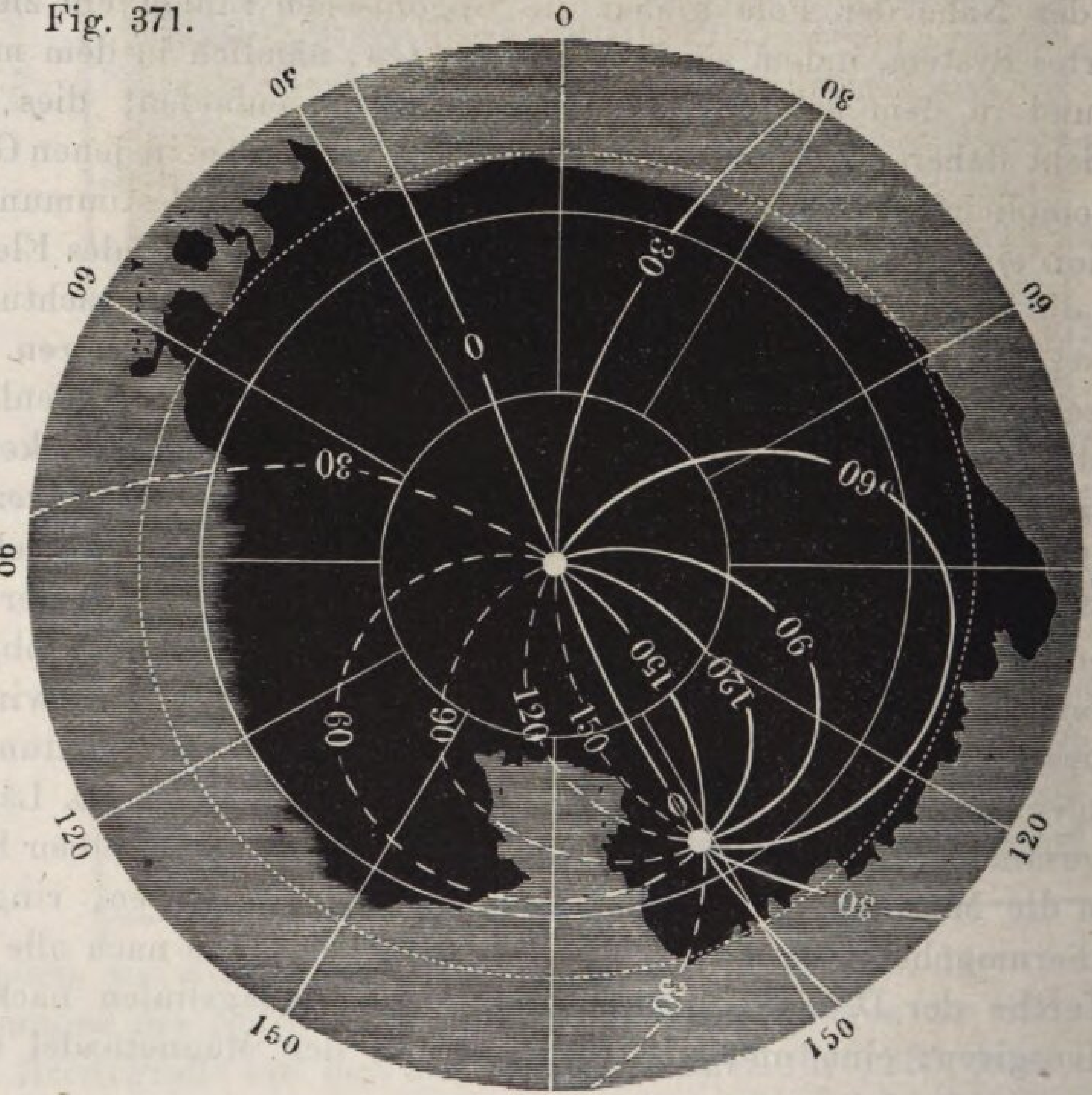


Fig. 371.



also verschiedene Winkel mit den von allen Seiten her nach dem Pole zusammenlaufenden Meridianen.

Diese scheinbare Verwickelung verschwindet, wenn man zur Darstellung der Declinationsverhältnisse der Erdoberfläche ein anderes Curvensystem wählt, wie es Duperrey bei der Construction seiner magnetischen Meridiane und Parallelen gethan hat.

Denken wir uns, dass man von irgend einem Orte ausgehend in der Richtung reiste, nach welcher das Nordende der Magnetnadel hinweist, und dass man dann stets der Richtung der Declinationsnadel folgt, so wird der Weg, den man zurücklegt, ein magnetischer Erdmeridian sein. Von Brüssel ausgehend, würde man auf diese Weise östlich von England, Schottland und Island vorbeikommen und durch Grönland nach Boothia Felix gelangen. Von St. Helena ausgehend käme man auf diese Weise nach dem grünen Vorgebirge, über die canarischen Inseln und die Azoren an der Südspitze von Grönland vorbei, endlich ebenfalls, nach Boothia Felix, wie man dies leicht auf der Karte Tab. XXIV. verfolgen kann, auf welche eine Reihe von magnetischen Erdmeridianen nach Duperrey aufgetragen sind, dessen Karten die magnetischen Meridiane für 1836 darstellen.

Tab. XXV. enthält die magnetischen Meridiane für die Umgebungen des Nordpols, Tab. XXVI. für die Umgebungen des Südpols.

In diese Karten sind ausserdem noch die Linien ohne Ablenkung nach den Gauss-Weber'schen Karten eingetragen, und diejenigen Gegenden blau angelegt, an welchen die Declination eine westliche ist.

Die magnetischen Meridiane geben unmittelbar die Richtung der Declinationsnadel für diejenigen Orte an, durch welche sie laufen. So sehen wir aus dem Laufe der entsprechenden Curve, dass zu Brüssel (1836) die Declination eine westliche ist, dass ungefähr unter dem 76. Grade nördlicher Breite an den Westküsten von Grönland die Nadel gerade nach Westen zeigt, und dass in Port Bowen dasselbe Ende der Declinationsnadel, welches wir das Nordende nennen, nach Südwesten, dass es auf der Melville-Insel nach Südosten gerichtet ist.

Alle magnetischen Erdmeridiane laufen in dem magnetischen Nordpole, und dann wieder in dem magnetischen Südpole der Erde zusammen.

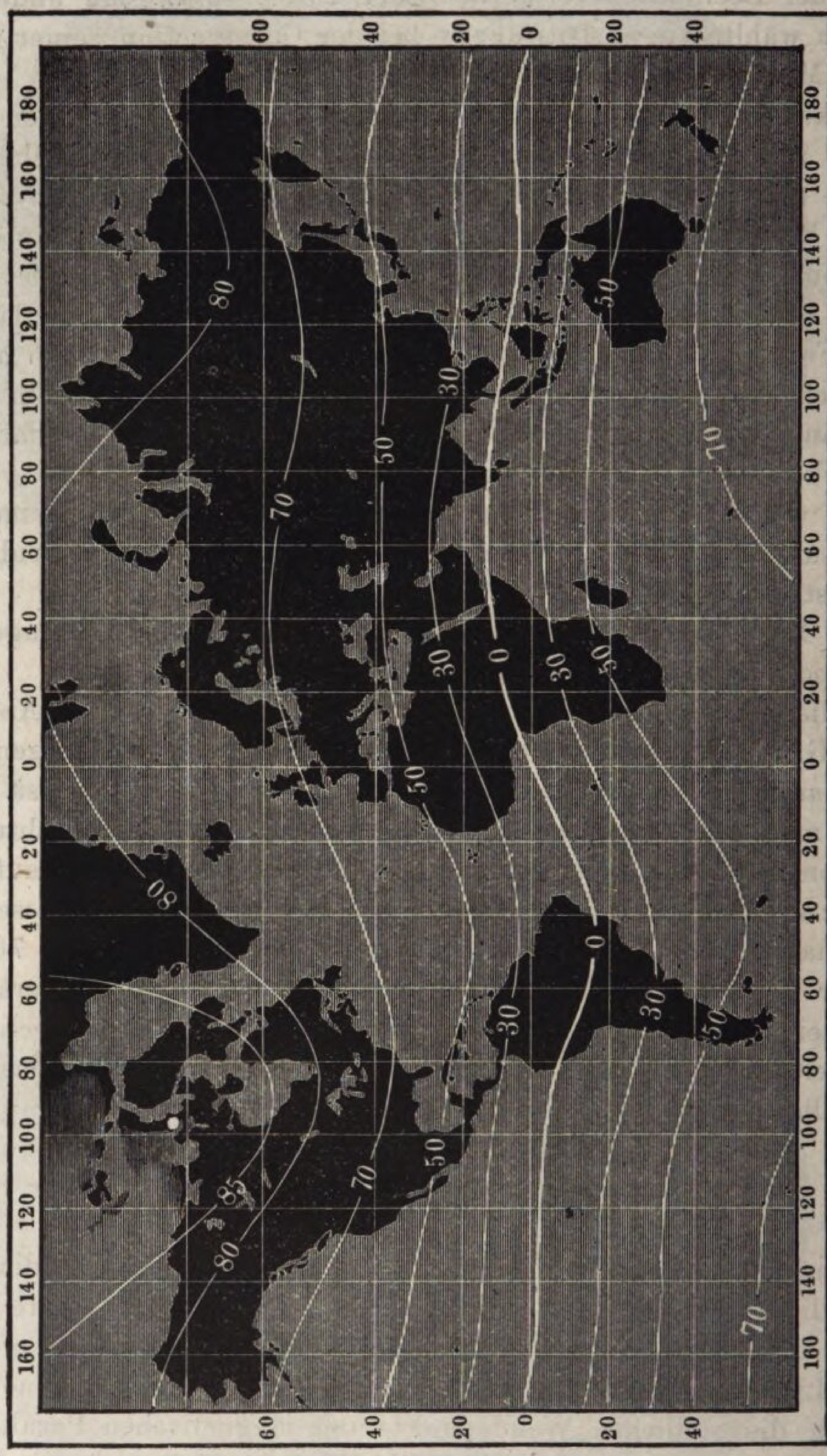
Solche Curven, welche das System der magnetischen Meridiane stets rechtwinklig durchschneiden, nennt Duperrey magnetische Parallele. In unseren Karten finden sich auch einige derselben eingetragen.

Die Linien ohne Abweichung laufen natürlich durch die nördlichen und durch die südlichen Wendepunkte der magnetischen Parallele, und durch die östlichen und westlichen Wendepunkte der magnetischen Meridiane.

Die Karte Fig. 372 (a. f. S.) stellt den Lauf der isoklinischen Linien für 1860 dar. Die isoklinischen Linien verändern sich im Laufe der Zeit wie die isogonischen. Der jetzige Lauf der isoklinischen

Linien weicht schon bedeutend von der Lage der entsprechenden Linien auf der von Hansteen für 1780 construirten Inclinationskarte ab. Es ist dies die früheste Periode, für welche hinlängliches Material zur Con-

Fig. 372.



Inclinationskarte für 1860.

struction einer über einen grösseren Theil der Erde sich erstreckenden Inclinationskarte vorliegt.

Die Linie auf der Erdoberfläche, für welche die Inclination gleich 0 ist, auf welcher also die Inclinationsnadel wagerecht steht, ist der mag-

netische Aequator. Nördlich vom magnetischen Aequator ist das Nordende, südlich von demselben ist das Südende der Inclinationsnadel nach unten gerichtet.

Die magnetischen Pole der Erde sind diejenigen Stellen der Erdoberfläche, auf welchen die Inclinationsnadel vertical steht, wo also der horizontale Antheil der magnetischen Erdkraft ganz verschwindet. Solcher magnetischer Pole giebt es zwei auf der Erdoberfläche, nämlich einen nördlichen und einen südlichen. Nach der Gauss'schen Theorie liegt (für 1835) der nördliche magnetische Pol 3° 30′ nördlich von dem Orte, wo ihn der Capitain Ross fand; beim südlichen magnetischen Pole wird man, wie Gauss bemerkt, wohl noch eine bedeutend grössere Verschiebung zu erwarten haben.

Man kann sich über diese Differenzen zwischen der Rechnung und der Beobachtung nicht wundern, wenn man bedenkt, dass die Data, welche Gauss zur Ausführung seiner Theorie zu Grunde legen konnte, selbst mehr oder weniger ungenau sind, dass die Angaben verschiedener Beobachter für einen und denselben Ort oft zu bedeutend differiren, als dass man annehmen könnte, diese Unterschiede seien den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft im Laufe der wenigen Jahre zuzuschreiben, welche zwischen den Beobachtungszeiten beider liegen.

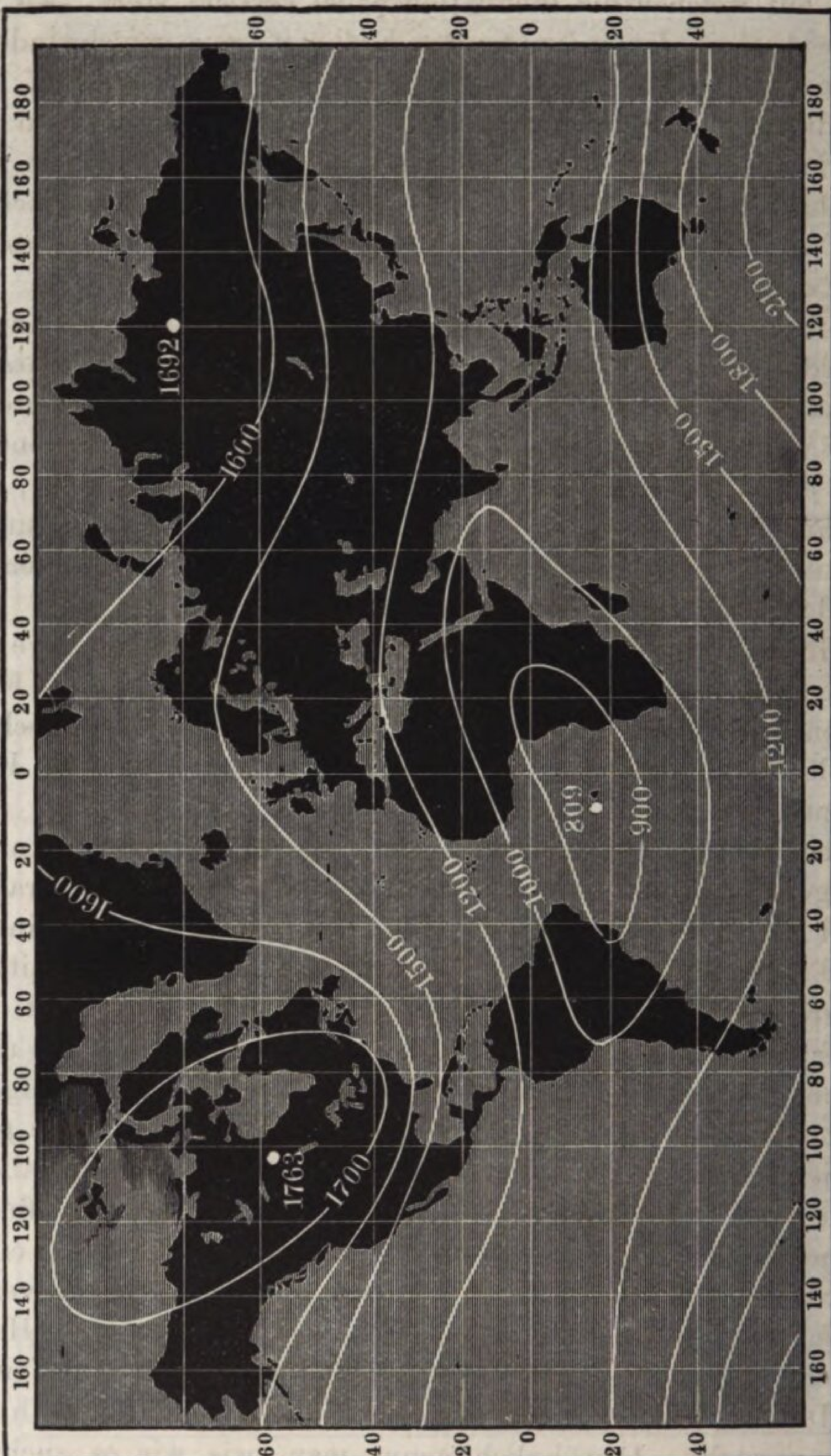
Die Grösse der entsprechenden Inclination ist jeder Curve unserer Figuren beigeschrieben. Der magnetische Nordpol ist in Fig. 372 durch einen stärkeren weissen Punkt bezeichnet. Die magnetischen Pole sind dieselben Punkte, in welchen die Declinationscurven in Fig. 370 und 371 zusammenlaufen.

Die beiden magnetischen Pole der Erde liegen einander nicht diametral gegenüber, d. h. eine die beiden Pole verbindende gerade Linie geht nicht durch den Mittelpunkt der Erde, sondern diese Linie bildet eine Sehne, welche von dem durch diese Sehne und den Erdmittelpunkt gelegten grössten Kreise einen Bogen von 161° 13′ abschneidet.

In der Karte Fig. 373 sind die isodynamischen Linien nach den berechneten Werthen der ganzen Intensität für 1835 aufgetragen. Man sieht, dass es auf der nördlichen Halbkugel zwei Orte giebt, an welchen die Intensität ein Maximum, d. h. grösser ist als in allen rund herum gelegenen Orten; ein solches Maximum der Intensität findet sich in Nordamerika etwas westlich von der Hudsonsbai, Fig. 373, ein zweites im nördlichen Asien. Dieser Umstand hat einige Gelehrte veranlasst, die Existenz von zwei magnetischen Polen auf der nördlichen Halbkugel anzunehmen; um zu entscheiden, ob dies wirklich der Fall ist, muss man vor allen Dingen feststellen, was man unter einem magnetischen Pole der Erde versteht. Gewöhnlich nennt man, wie wir es auch gethan haben, diejenigen Orte der Erdoberfläche magnetische Pole, an welchen der horizontale Theil der Erdkraft verschwindet; man könnte aber unter einem magnetischen Pole auch eine solche Stelle verstehen, für welche die Intensität des Magnetismus ein Maximum ist. Diese beiden Begriffe

sind aber nun durchaus nicht identisch, es kann an einem Orte die horizontale Composante des Erdmagnetismus verschwinden, die Inclinationsnadel kann sich vertical stellen, ohne dass deshalb hier auch ein Maximum der Intensität zu finden ist; umgekehrt kann an einem Orte die In-

Fig. 373.



Isodynamische Linien für 1835.

tensität des Erdmagnetismus sehr wohl ein Maximum sein, ohne dass sich die Inclinationsnadel vertical stellt.

Nimmt man das Wort Pol im gewöhnlichen Sinne, so giebt es nur einen magnetischen Nordpol. An diesem Pole ist die Intensität des Erd-

magnetismus kein Maximum; an den beiden Orten aber, für welche die Intensität ein Maximum ist, stellt sich die Inclinationsnadel nicht vertical, diese Orte sind also nach unserer Begriffsbestimmung keine magnetischen Pole.

Die den isodynamischen Linien beigeschriebenen Zahlen geben den Werth der Intensität nicht nach absolutem Maasse, sondern nach der bisher üblichen willkürlichen Einheit an, nach welcher die Intensität für London 1,372 ist; nur sind diese Zahlen, um Brüche zu vermeiden, noch mit 1000 multiplicirt. Um die Zahlen unserer Karte auf das absolute Maass zu reduciren, sind sie nur mit 0,0034941 zu multipliciren.

Lamont's magnetische Karten. Um den Verlauf der mag- 262
netischen Curven genauer zu verfolgen, muss man denselben in Specialkarten von Ländern eintragen, für welche möglichst zahlreiche und genaue magnetische Ortsbestimmungen vorliegen, wie dies Lamont in seinen magnetischen Karten von Deutschland und Bayern (München 1854) gethan hat.

In Fig. 374 ist die Lamont'sche Declinationskarte von Deutschland in kleinerem Maassstabe wiedergegeben. Die durch München gehende, oben und unten mit 0 bezeichnete Curve verbindet alle Orte, welche mit München gleiche Declination haben. Die nach Westen hin zunächst liegende mit $+ 1^0$ bezeichnete geht über diejenigen Orte, deren westliche Declination um 1^0 grösser ist als die Declination von München; ebenso entsprechen die mit $+ 2^0$, $+ 3^0$ u. s. w. bezeichneten Curven einer um 2,3 ... Grad grösseren, und die mit $- 1^0$, mit $- 2^0$, $- 3^0$ u. s. w. bezeichneten einer um 1, 2 und 3 Grad geringeren Declination.

Im Jahre 1852 betrug die Declination für München $15^0\ 40'$. Für dasselbe Jahr beträgt also die Declination für Luxemburg $18^0\ 40'$. Für Wien ist der Karte zufolge die Declination ungefähr $2^0\ 20'$ kleiner als zu München, sie ist also für Wien im Jahre 1852 gleich $13^0\ 20'$ u. s. w.

Aehnlich ist die Einrichtung der Karte Fig. 375, welche die isoklinischen Linien enthält. Für die mit $+ 1^0$, $+ 2^0$, $+ 3^0$ bezeichneten Curven dieser Karte ist die Inclination um 1, 2, 3^0 grösser, für die mit $- 1^0$, $- 2^0$, $- 3^0$ bezeichneten aber ist sie um 1, 2, 3 Grad kleiner als die Inclination zu München, welche im Jahre 1852 $64^0\ 54'$ betrug.

Dieser Karte zufolge ist also die Inclination für 1852 zu Stralsund ungefähr $68^0\ 54'$. Für Breslau ist sie nahe $1^1/_2$ Grad grösser, für Mailand ist sie etwas mehr als $1^1/_2$ Grad kleiner als für München.

Die dritte Karte endlich, Fig. 376 (S. 749), enthält die Curven gleicher horizontaler Intensität. Die durch München gehende Curve ist auch hier mit 0 bezeichnet; auf den übrigen Curven ist die nach absolutem Maass gemessene horizontale Intensität um den am Rande angegebenen Werth grösser oder kleiner als zu München. Die horizontale Intensität ist also

Fig. 374.

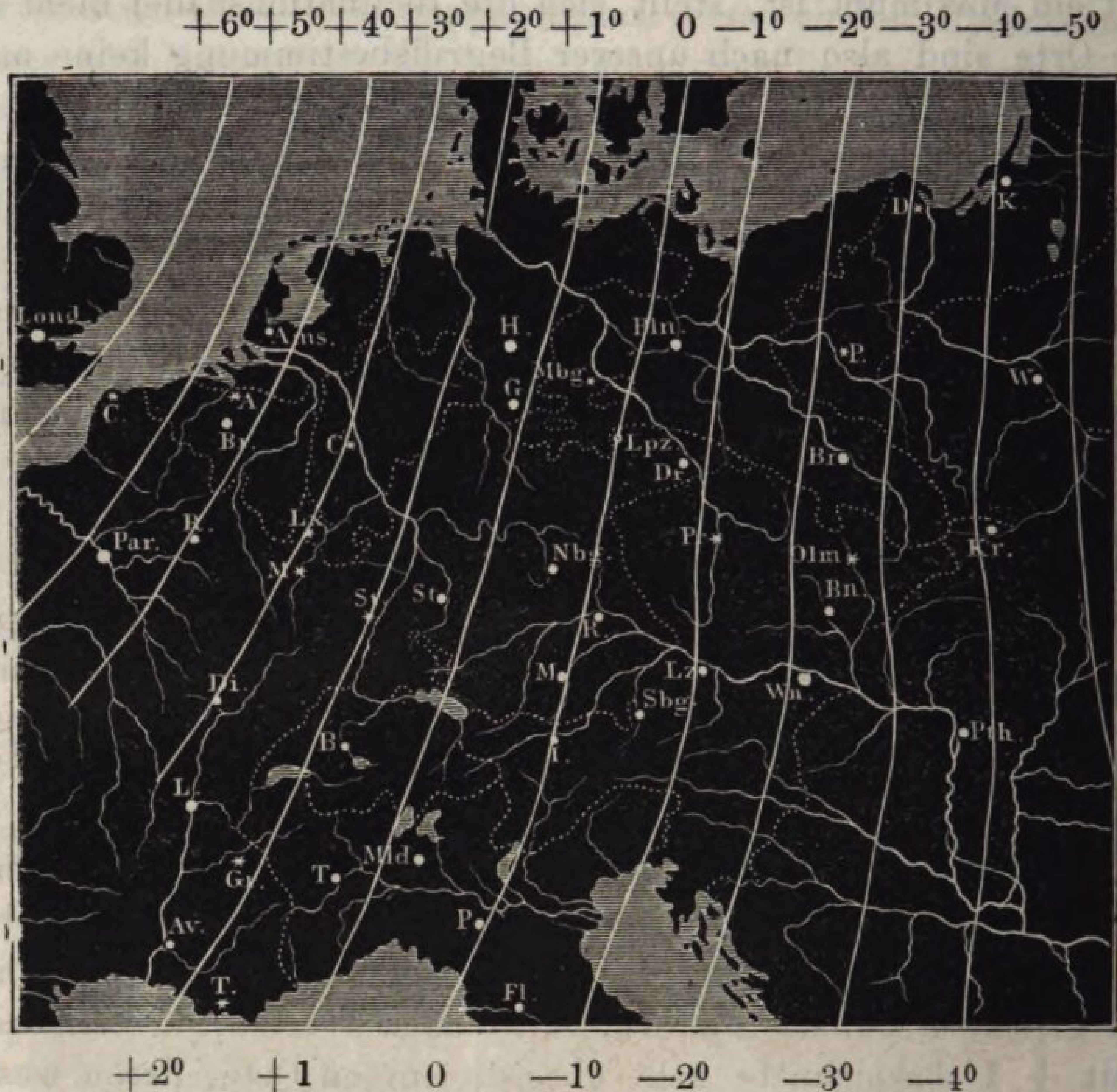
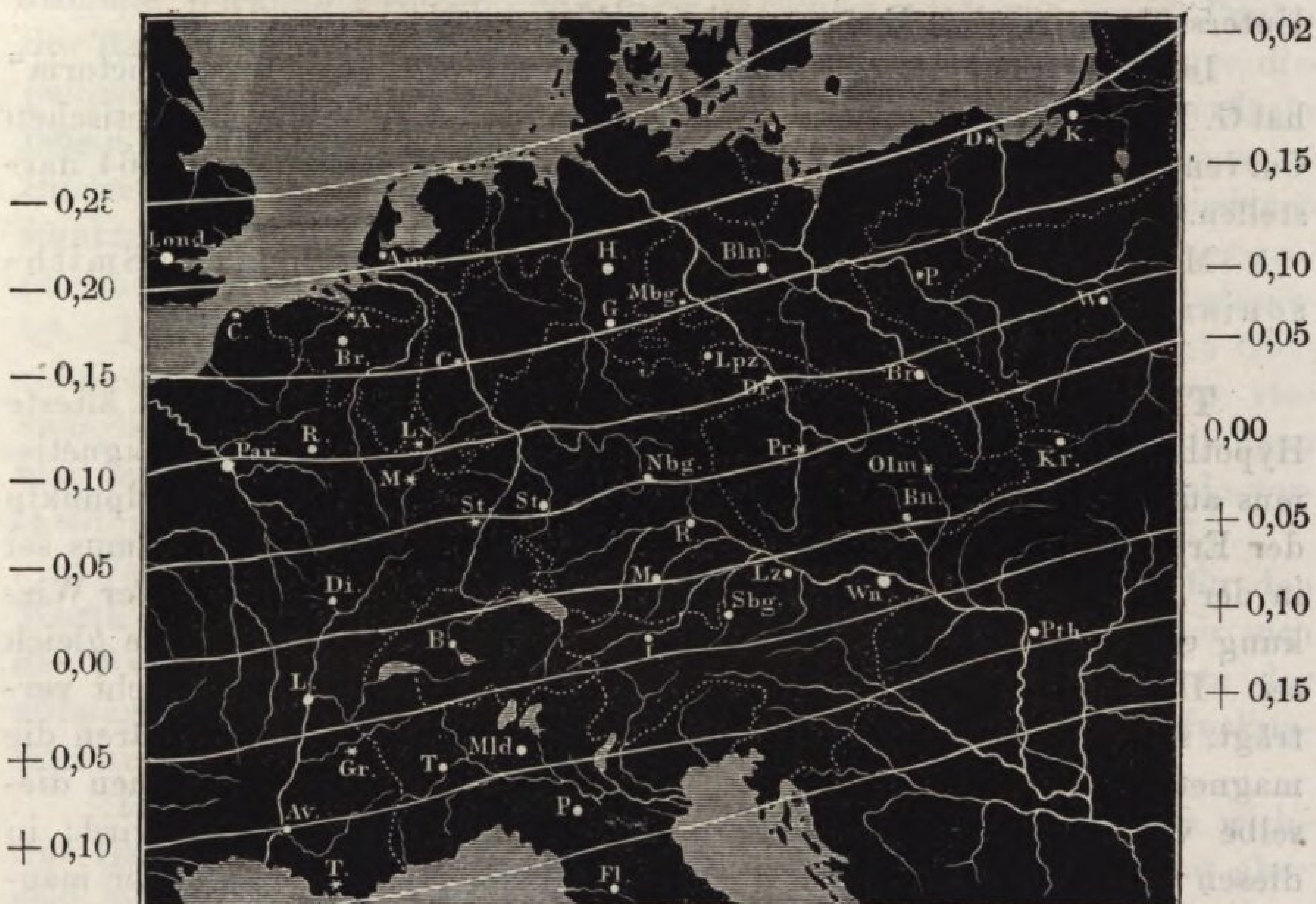


Fig. 375.



zu Paris, Frankfurt und Warschau um 0,10, zu Triest ist sie um 0,125 grösser als zu München, wo sie im Jahre 1852 den Werth 1,9508 hatte.

Fig. 376.



Ganz ähnlich ist nun auch die Einrichtung der von **Lamont** bearbeiteten magnetischen Karten von Bayern und dem südwestlichen Deutschland, jedoch beträgt die Declinationsdifferenz je zweier auf einander folgenden Declinationscurven 10′. Ebenso entsprechen die Intervalle der Inclinationskarte von Bayern einer Inclinationsänderung von 10 Minuten. Auf den Intensitätskarten von Bayern entspricht der Intervall je zweier auf einander folgender Curven einer Aenderung der absolut horizontalen Intensität von 0,01.

Bei einem solchen Maassstab treten dann auch locale Störungen deutlich hervor. Während z. B. im Durchschnitt der Abstand je zweier benachbarter Declinationscurven ungefähr 4 Meilen beträgt, rücken etwas westlich von Karlsruhe die Curven + 1° 50′ und + 2° bis auf 1 Meile zusammen; dagegen rücken die Declinationscurven + 1° 30′ und 1° 40′ bei Darmstadt, welches zwischen denselben liegt, bis auf 8 Meilen auseinander. Eine ähnliche Erweiterung zeigt sich zwischen Bamberg und Baireuth, und eine noch bedeutendere zwischen Salzburg und dem westlichen Ende des Chiemsees.

Die Inclinations- und Intensitätscurven zeigen die grössten Unregelmässigkeiten in der bayerischen Pfalz, namentlich in der Nähe von Pirmasenz.

Es wäre in der That sehr zu wünschen, dass Lamont's Beispiel in anderen Ländern Nachahmung fände; solche magnetische Specialkarten würden die sichersten Anhaltspunkte zur Construction magnetischer Erdkarten geben, wie sie denn überhaupt ein reichliches Material für fernere Untersuchungen über Erdmagnetismus bieten.

In seinen „Results of the magnetic survey of the colony of Victoria" hat G. Neumayer magnetische Karten publicirt, welche die magnetischen Curven des südöstlichen Theiles von Australien für das Jahr 1864 darstellen.

Magnetische Karten von Nordamerika sind durch das Smithsonian Institution zu Washington publicirt worden.

263 **Theorie des Erdmagnetismus.** Die einfachste und älteste Hypothese, welche zur Erklärung der Erscheinungen des Erdmagnetismus aufgestellt wurde, ist die, einen kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde anzunehmen, oder vielmehr anzunehmen, der Magnetismus sei in der Erde so vertheilt, dass die Gesammtwirkung nach aussen der Wirkung eines fingirten kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde gleich sei. Dass eine solche Annahme sich mit den Beobachtungen nicht verträgt, sieht man auf den ersten Blick. Nach dieser Hypothese wären die magnetischen Pole diejenigen Punkte der Erdoberfläche, in welchen dieselbe von der verlängerten Axe des Centralmagnets getroffen wird; in diesen Polen müsste zugleich die Intensität ein Maximum sein; der magnetische Aequator wäre ein grösster Kreis, und alle isoklinischen Linien mit demselben parallel u. s. w. Tobias Mayer hat diese Hypothese dadurch modificirt, dass er den fingirten Magneten um den 7ten Theil des Erdhalbmessers von dem Mittelpunkte der Erde entfernt annahm; Hansteen versuchte, die Erscheinungen durch die Annahme von zwei kleinen Magneten von ungleicher Lage und Stärke zu erklären. Alle diese Versuche gaben jedoch keine genügenden Resultate.

Gauss hat endlich einen anderen Weg eingeschlagen, indem er nicht, wie seine Vorgänger, von einer einfachen Hypothese über die magnetische Vertheilung in der Erde ausging und dann die Resultate dieser Hypothese mit der Erscheinung verglich, sondern er suchte gleich die Frage zu beantworten: wie muss dieser grosse Magnet beschaffen sein, um den Erscheinungen Genüge zu leisten?

Die Gauss'sche Theorie lässt sich ohne Hülfe höherer Rechnung nicht entwickeln, da es sich hier darum handelt, das Zusammenwirken aller magnetischen Kräfte, die keineswegs gleichförmig und regelmässig vertheilt sind, in mathematischen Formeln darzustellen; wir müssen uns also darauf beschränken, die Grundideen dieser Theorie anzudeuten.

Die Grundlage der Gauss'schen Theorie ist die Voraussetzung, dass die erdmagnetische Kraft die Gesammtwirkung der magnetisirten Theile des Erdkörpers ist. Das Magnetisirtsein stellt er sich als eine Scheidung der magnetischen Flüssigkeit in der Weise vor, wie wir dies im Lehr-

buche der Physik, 7. Aufl. Bd. II., S. 7, entwickelt haben. Eine Vertauschung dieser Vorstellungsart mit der Ampère'schen würde in den Resultaten nichts ändern. Dies vorausgesetzt, wird die Gesammtheit aller magnetisirten Theile des Erdballs auf jeden Punkt im Raume eine bestimmte Wirkung ausüben, und diese Wirkung wird von einem Punkte des Raumes zum anderen sich ändern müssen. Wir haben hier nur diejenigen Punkte des Raumes zu betrachten, welche auf der Erdoberfläche liegen. Zunächst ist demnach klar, wie auch der freie Magnetismus im Inneren der Erde vertheilt sein mag, die Wirkung wird in verschiedenen Punkten der Erdoberfläche nicht dieselbe sein, sie wird von der geographischen Länge und Breite des Ortes abhängen, den man gerade betrachtet. Die Wirkungen des Erdmagnetismus müssen sich also durch Gleichungen ausdrücken lassen, in denen die Länge und die Breite die veränderlichen Grössen sind; die Constanten dieser Gleichungen aber hängen von der Art und Weise ab, wie der freie Magnetismus in der Erde vertheilt ist.

Zunächst entwickelt Gauss auf diese Weise eine Gleichung für den Werth des magnetischen Potentials, einer Grösse, aus welcher sich die Werthe der nördlichen, westlichen und verticalen Composante der erdmagnetischen Kraft und aus diesen dann wieder Declination, Inclination und totale Intensität leicht berechnen lassen.

Das magnetische Potential, welches also zunächst als eine wichtige Hülfsgrösse für die Berechnung des Erdmagnetismus dient, hat aber auch eine physikalische Bedeutung. Denken wir uns an irgend einer Stelle der Erdoberfläche eine verticale Röhre angebracht, deren Querschnitt 1 Quadratmillimeter beträgt, und diese Röhre bis zu einer Höhe, in welcher die Wirkung des Erdmagnetismus unmerklich wird, mit nordmagnetischem Fluidum in der Weise gefüllt, dass jedes Cubikmillimeter 1 Maass (nach der bekannten absoluten Einheit des Fluidums) enthält, so stellt uns das magnetische Potential den Druck dar, welchen der Boden dieser Röhre dadurch auszuhalten hat, dass der Erdmagnetismus die in der Röhre enthaltene Flüssigkeit anzieht; da, wo das nordmagnetische Fluidum von dem Erdmagnetismus abgestossen werden würde, hat man sich die Röhre in gleicher Weise mit südmagnetischem Fluidum gefüllt zu denken.

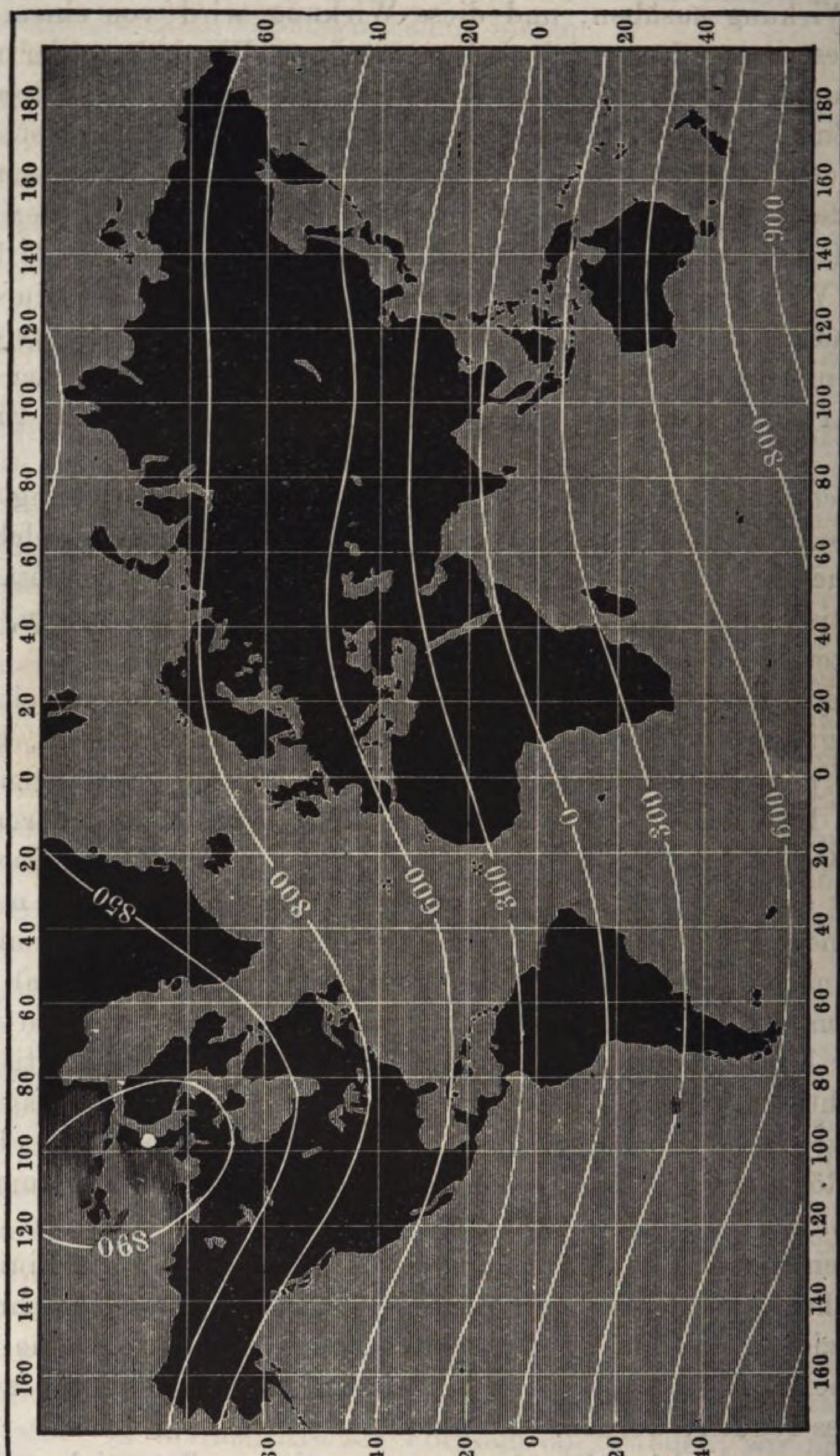
In den Karten Fig. 377, 378 und 379 (a. f. S.) sind die Linien gleicher Werthe des magnetischen Potentials dargestellt; die beigeschriebenen Zahlen beziehen sich nicht auf absolutes Maass, sondern auf eine willkürliche Einheit; sie können durch Multiplication mit 0,0034941 auf absolutes Maass reducirt werden.

Die Curven gleicher Werthe des magnetischen Potentials wollen wir Gleichgewichtslinien nennen.

Aus dem Laufe der Gleichgewichtslinien ergiebt sich die Richtung der horizontalen Magnetnadel auf eine sehr einfache Weise, indem, wie Gauss gezeigt hat, die Richtung der Declinationsnadel stets rechtwink-

lig auf den Gleichgewichtslinien stehen muss. Aus dem Laufe dieser Curven kann man die Richtung der Boussole für jeden Ort der Erdoberfläche auf eine ungleich einfachere und übersichtlichere Weise ableiten, als es mittelst der Declinationskarte möglich ist.

Fig. 377.



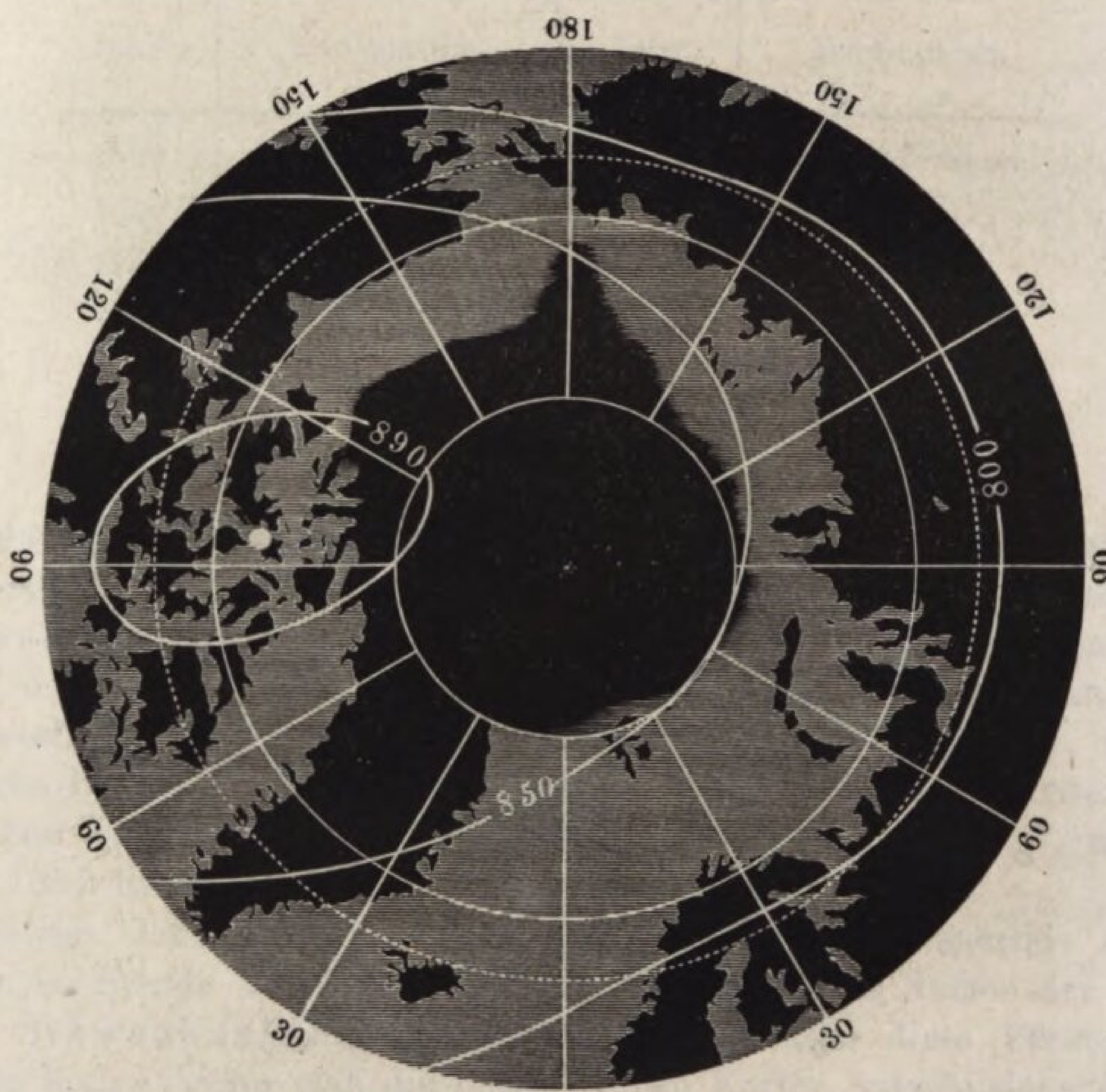
Magnetische Gleichgewichtslinien.

Zwischen den Werthen des magnetischen Potentials und der horizontalen Intensität findet folgende Beziehung Statt. Denken wir uns auf einer Karte nur solche Gleichgewichtslinien gezogen, welche gleichen Differenzen des magnetischen Potentials entsprechen, etwa nur solche

Curven, welche den immer um 100 wachsenden Werthen des magnetischen Potentials entsprechen, so ist die horizontale Intensität der Entfernung der Gleichgewichtscurven umgekehrt proportional; die horizontale Intensität ist also für solche Gegenden am grössten, für welche die Gleichgewichtslinien am dichtesten sind; je weiter die gleichen Differenzen des Potentials entsprechender Curven auseinanderrücken, desto kleiner wird die horizontale Intensität.

Aus der horizontalen Intensität ergiebt sich leicht die nördliche und westliche Composante, da ja durch den Lauf der Gleichgewichtslinien auch die Richtung der horizontalen magnetischen Kraft bestimmt ist.

Fig. 378.



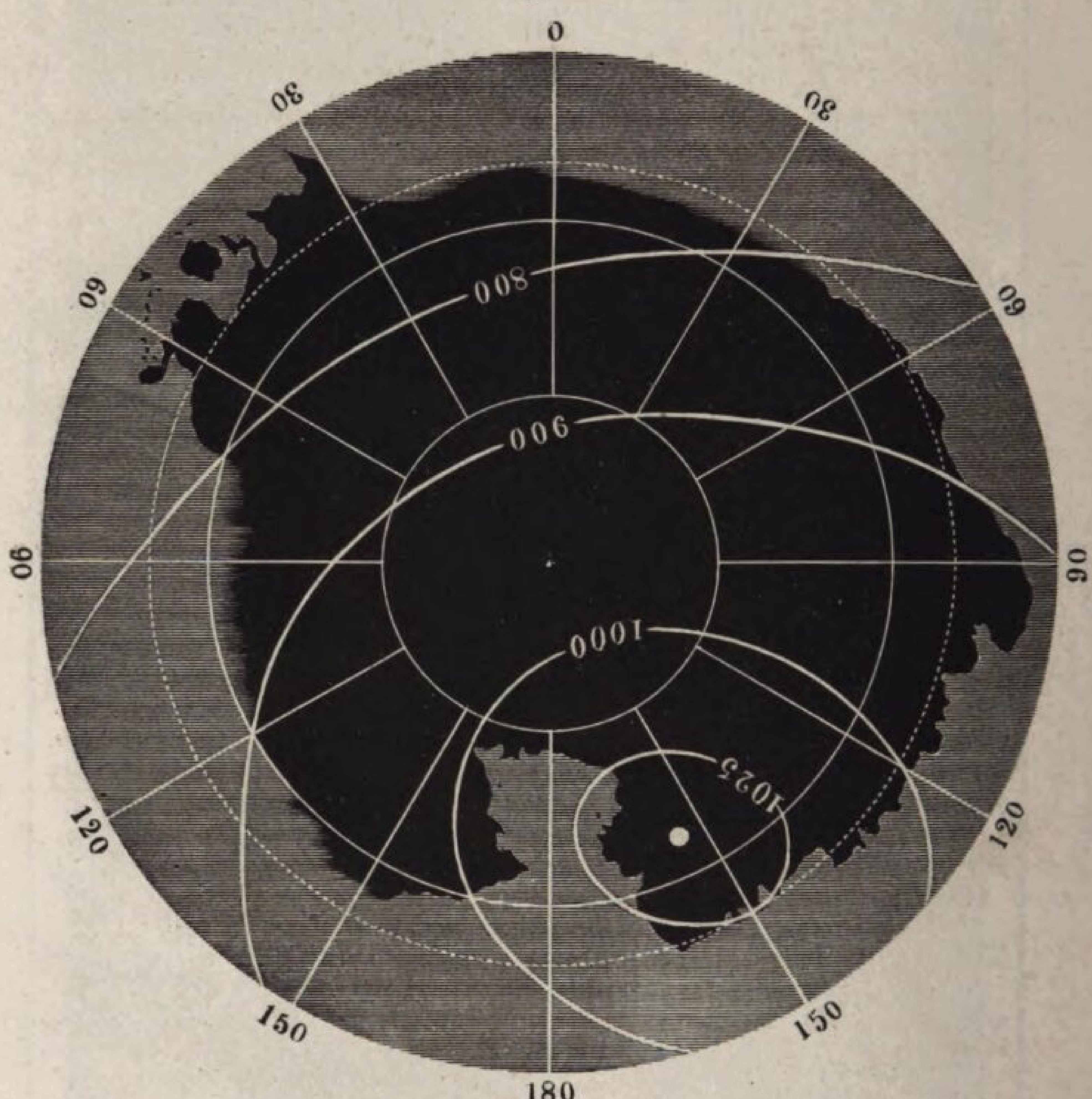
Aus den Werthen des magnetischen Potentials ergeben sich ferner die Werthe der verticalen Intensität; doch können wir diesen Zusammenhang hier nicht weiter verfolgen. Sind aber erst die drei Composanten der erdmagnetischen Kraft bestimmt, so kann man auch noch leicht die Grösse und Richtung der ganzen Intensität ermitteln.

Wenn man in den Werthen für das magnetische Potential und die drei Composanten der erdmagnetischen Kraft nur diejenigen Glieder noch berücksichtigt, welche mit den 4ten Potenzen der veränderlichen Grössen (Länge und Breite) behaftet sind, die höheren Potenzen aber vernachlässigt, so bleiben in den Werthen noch 24 constante Coefficienten zu be-

stimmen. Diese Coefficienten können wir nun nicht a priori aus der Vertheilung des freien Magnetismus in der Erde ableiten, weil wir ja noch nichts über die Art wissen, wie der freie Magnetismus vertheilt ist; die 24 Coefficienten müssen demnach durch die Combination von 24 verschiedenen Beobachtungen bestimmt werden. Die genaue Bestimmung der 3 Elemente des Erdmagnetismus an 8 verschiedenen Orten der Erdoberfläche würde also hinreichen, um die 24 Coefficienten zu ermitteln.

Sind einmal die constanten Coefficienten bekannt, so kann man nach den erwähnten Gleichungen die Werthe der drei Composanten der erd-

Fig. 379.



magnetischen Kraft und folglich auch die Declination, die Inclination und die ganze Intensität für jeden Ort der Erdoberfläche berechnen, wenn man für die Länge und Breite die diesem Ort entsprechenden Zahlenwerthe in die Gleichungen setzt.

Da es an einer hinlänglich genauen Bestimmung aller drei Elemente des Erdmagnetismus für acht weit genug von einander entfernte Orte der Erdoberfläche fehlt, so muss man mehr Beobachtungen zu Hülfe nehmen, als eigentlich zur Bestimmung der Coefficienten nöthig sind. Auf diese Weise werden sich für denselben Coefficienten mehrere verschiedene Werthe ergeben, und man hat alsdann nach der Methode der kleinsten

Quadrate den wahrscheinlichsten Mittelwerth für jeden Coefficienten zu ermitteln.

Die säcularen Variationen. Die Elemente des Erdmagnetismus für irgend einen Ort auf der Erdoberfläche sind keineswegs unveränderliche Grössen, wie dies bereits im Lehrbuch der Physik besprochen wurde. Wie bedeutend sich die Declination ändert, ergiebt sich z. B. aus der folgenden Tabelle: 264

Declination für Paris.

Jahr.	Declination.	Jahr.	Declination.
1580	11° 30′ östl.	1814	22° 34′ westl.
1618	8 „	1819	22 29 „
1663	0 „	1822	22 11 „
1770	8 10 westl.	1832	22 3 „
1780	19 55 „	1842	21 25 „
1805	22 5 „	1852	20 20 „

Man sieht aus dieser Tabelle, dass im Jahre 1580 in Frankreich die Declination noch eine östliche war, dass sie abnahm und im Jahre 1663 Null wurde; in jenem Jahre also zeigte die Declinationsnadel zu Paris genau nach Norden. Von jener Zeit an war die Declination zu Paris eine westliche, und zwar stets zunehmend bis zum Jahre 1814, wo die westliche Declination zu Paris ein Maximum von 22° 34′ erreichte. Seit jener Zeit nimmt die westliche Declination zu Paris wieder ab, und im Jahre 1852 betrug sie nur noch 20° 20′.

Solche, Jahrhunderte lang in gleichem Sinne fortdauernde Aenderungen im Stande der Magnetnadel werden mit dem Namen der säcularen Schwankungen bezeichnet. Man übersieht diese Veränderungen am besten, wenn man die magnetischen Karten verschiedener Zeiten, z. B. die Declinationskarten von 1600 und 1860, mit denjenigen verschiedener Zwischenperioden vergleicht.

Mit dem Laufe der magnetischen Curven ändert sich natürlich auch die Lage der magnetischen Pole. Der magnetische Nordpol, welcher im Jahre 1600 ungefähr bei *A*, Fig. 367, lag, ist allmälig bis *B* vorgerückt.

Wie gross gegenwärtig die jährliche Aenderung der Declination für Deutschland ist, ersieht man aus folgender Tabelle, welche nach Lamont die Declination zu München für den 1. Januar der folgenden Jahre ergiebt:

1841	16°	57,5′	1847	16°	17,4′
1842	16	50,4	1848	16	10,3
1843	16	43,4	1849	16	2,5
1844	16	37,1	1850	15	53,9
1845	16	30,4	1851	15	49,4
1846	16	23,5	1852	15	40,1

also im Durchschnitt ungefähr eine Abnahme von $6\frac{1}{2}$ Minuten im Jahre.

Begreiflicher Weise ist der Gang der säcularen Variationen der Declination in verschiedenen Gegenden nicht derselbe. So erreichte z. B. die Declination auf dem Cap der guten Hoffnung erst im Jahre 1843 ihr westliches Maximum, während auf St. Helena noch gegenwärtig die westliche Declination ungefähr um 8′ jährlich zunimmt.

Man kann sich diese Differenzen wohl erklären, wenn man bedenkt, dass das Curvensystem im Allgemeinen gegenwärtig wenigstens nach Westen hin fortschreitet.

Aehnliche säculare Aenderungen zeigt auch die Inclination, wie man aus folgender Tabelle sieht:

Inclination für Paris,

Jahr.	Inclination.	Jahr.	Inclination.
1671	75°	1820	68° 20′
1780	71 48′	1825	68 0
1806	69 12	1831	67 40
1814	68 36	1835	67 24

und gegenwärtig beträgt die Inclination nicht mehr ganz 67 Grad.

Wie gross gegenwärtig die jährliche Aenderung der Inclination ist, ersieht man aus folgender Tabelle, welche nach Lamont die Werthe der Inclination zu München für den Anfang der nachgenannten Jahre angiebt:

1841	65°	22,0′	1847	65°	7,0′
1842	65	19,5	1848	65	4,5
1843	65	17,0	1849	65	2,0
1844	65	14,5	1850	64	59,5
1845	65	12,0	1851	64	57,0
1846	65	9,5	1852	64	54,5

Die Abnahme der Inclination beträgt also in Deutschland ungefähr 2,3 Minuten im Jahre.

Auch die Variationen der Inclination halten in verschiedenen Ländern keineswegs gleichen Gang. Während sich in Europa gegenwärtig das Nordende der Inclinationsnadel allmälig hebt, nimmt die ungefähr

Tab. 23.

Fig. 1.

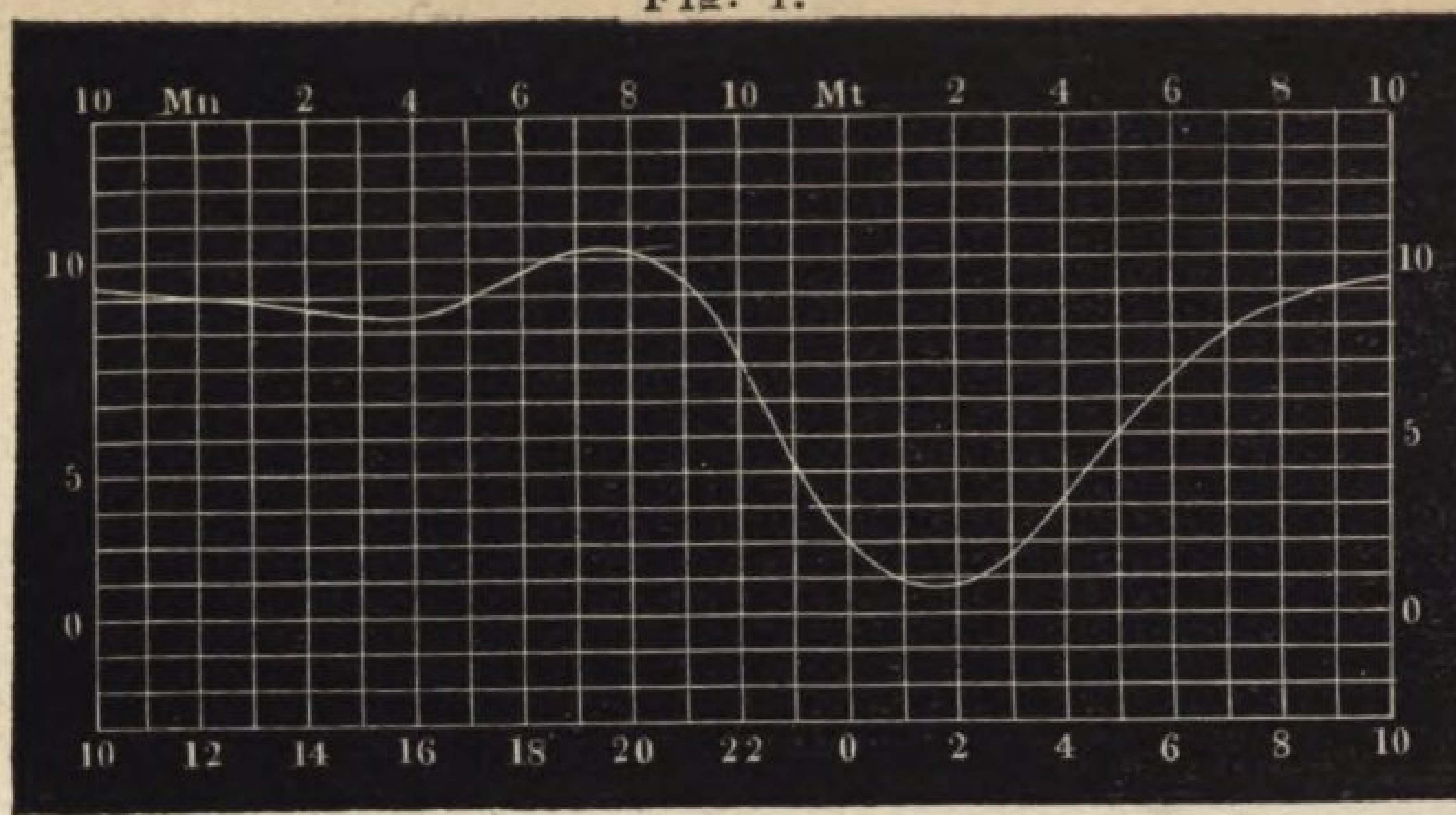
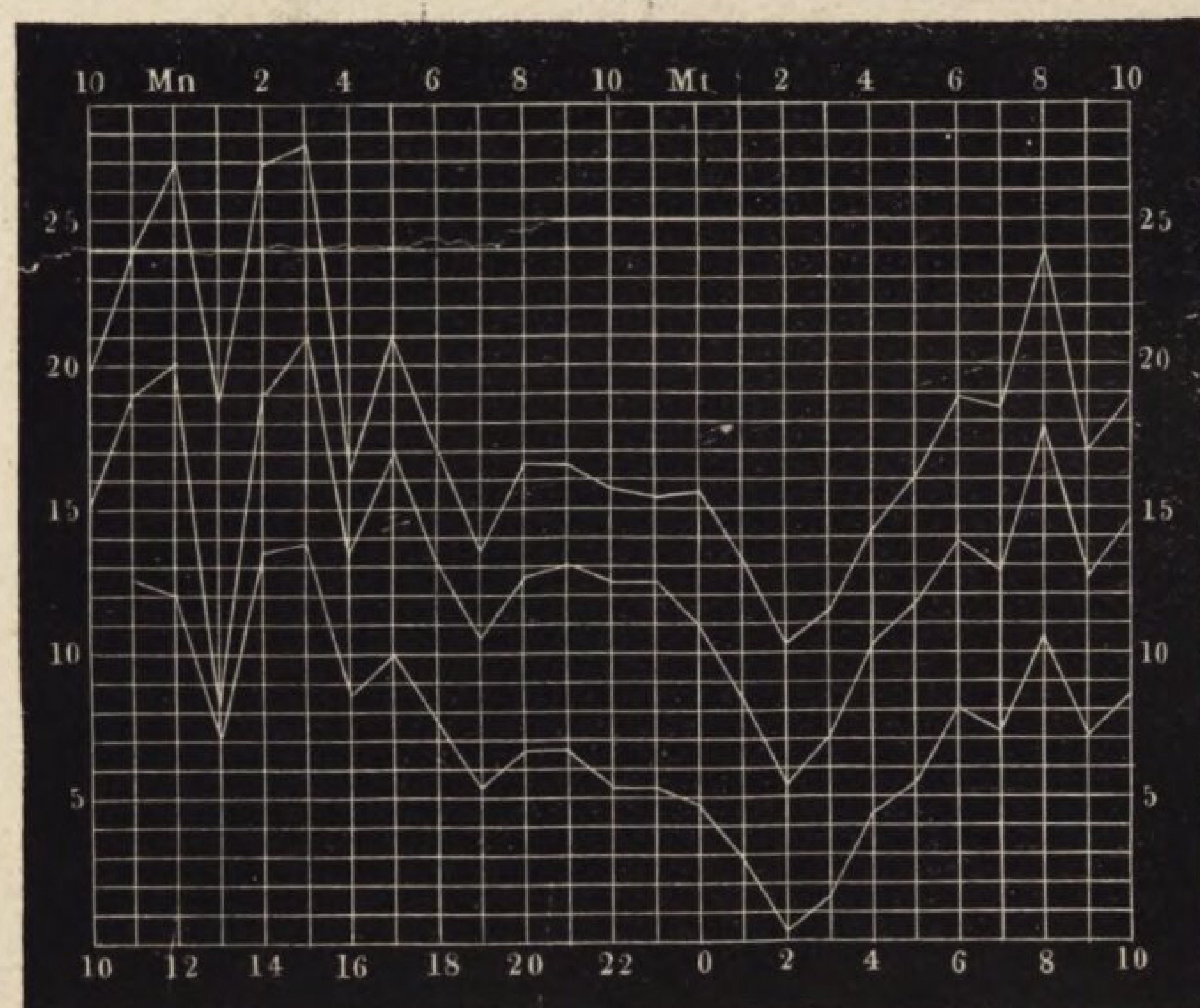
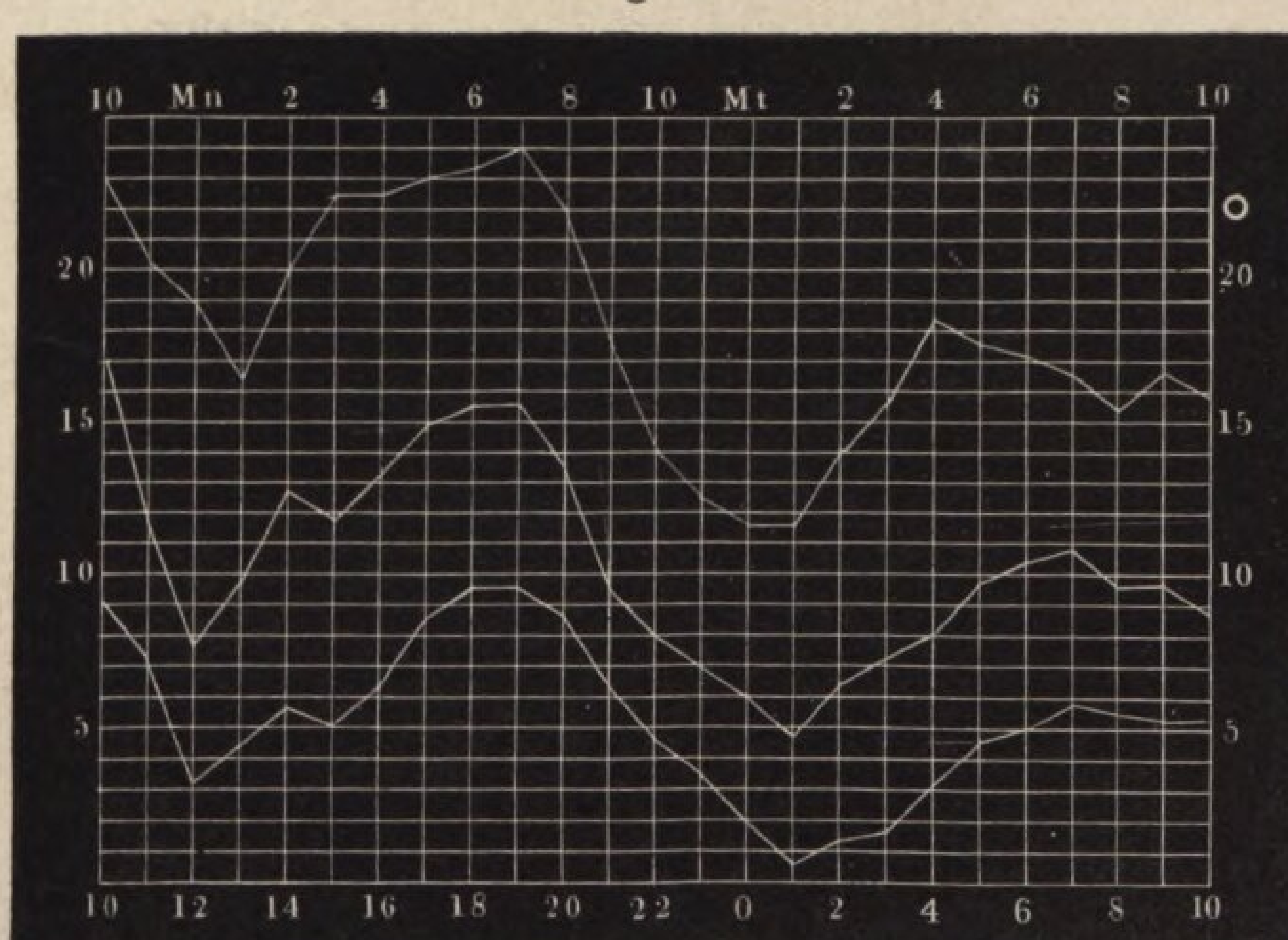


Fig. 2.



Terminsbeobachtungen vom 26. und 27. Februar 1841.

Fig. 3.



Terminsbeobachtungen vom 28. und 29. Mai. 1841.

22^0 betragende südliche Inclination auf St. Helena ungefähr um 8 Minuten jährlich zu.

Was die Intensität anbelangt, so ist die Zeit, während welcher man diesem Element die nöthige Aufmerksamkeit gewidmet hat, zu kurz, um den Gang der sacularen Variationen desselben mit einiger Sicherheit zu übersehen. Die horizontale Intensität nimmt gegenwärtig in Deutschland zu, was aber wenigstens theilweise von der Abnahme der Inclination herrührt. Für München war die horizontale Intensität

Anfangs	1841	1,9300	Anfangs	1847	1,9417
„	1842	1,9339	„	1848	1,9432
„	1843	1,9373	„	1849	1,9437
„	1844	1,9374	„	1850	1,9523
„	1845	1,9374	„	1851	1,9549
„	1846	1,9397	„	1852	1,9508

Bis jetzt ist man noch nicht im Stande, einen genügenden Grund für die säcularen Aenderungen der erdmagnetischen Constanten anzugeben.

Die täglichen Variationen. Die säcularen Aenderungen in 265
der Richtung der Magnetnadel gehen nicht in der Art vor sich, dass die Nadel sich ganz langsam und gleichförmig nach einer bestimmten Richtung hin fortbewegt, sondern die Magnetnadeln sind beständigen Schwankungen unterworfen, in welchen sich zunächst eine tägliche Periode ausspricht.

Was die Declination betrifft, so ist der Verlauf ihrer täglichen Variationen in Deutschland ungefähr folgender: Morgens um 8 Uhr hat die Declinationsnadel im Durchschnitt ihre östlichste Stellung; ziemlich rasch bewegt sich nun ihr Nordende gegen Westen und erreicht zwischen 1 und 2 Uhr ihren westlichen Wendepunkt, um dann wieder nach Osten hin zu wandern, und zwar in den Nachmittags- und Abendstunden schneller, während der Nachtstunden langsamer.

Dieser Gang der Declinationsnadel wird durch die Curve Fig. 1 Tab. 23 anschaulich gemacht, welche den mittleren täglichen Gang der täglichen Variationen der Declinationsnadel zu Göttingen darstellt. Die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten den Variationen der Declination proportional, und zwar entspricht der Abstand zweier Verticalstriche einem Zeitintervall von 1 Stunde, während der Abstand zweier Horizontallinien einer Winkeldifferenz von 1 Minute entspricht. — Am oberen Rande der Figur ist die Zeit nach bürgerlicher, am unteren Rande ist sie nach astronomischer Weise gezählt.

Ein Steigen der Curve entspricht einer nach Osten, ein Sinken entspricht einer nach Westen gerichteten Bewegung des Nordendes der Nadel.

Die Amplitude der täglichen Bewegung der Magnetnadel, d. h. der Winkel zwischen ihrem östlichsten und ihrem westlichsten Stande, ist

veränderlich, und zwar ist sie im Allgemeinen von der Jahreszeit abhängig; sie ist grösser im Sommer, kleiner im Winter. Folgendes sind die Mittelwerthe dieser Amplitude für die verschiedenen Monate in Göttingen:

Januar . . .	6,7′	Juli	12,1′
Februar . . .	7,4	August . . .	13,0
März	11,0	September . .	11,8
April	13,9	October . . .	10,3
Mai	13,5	November . .	6,9
Juni	12,5	December . .	5,0

Derselbe Gang der täglichen Variationen der Declination zeigt sich im Wesentlichen für alle Orte, welche nördlich vom magnetischen Aequator liegen, nur werden sie um so schwächer, je mehr man sich von den Polargegenden aus dem magnetischen Aequator nähert, für welchen sie fast völlig verschwinden, um auf der Südhälfte der Erde in gleicher Weise, aber in entgegengesetzter Richtung aufzutreten, d. h. auf der südlichen Hemisphäre bewegt sich das Südende der Nadel zu denselben Tageszeiten nach Westen, in welchen auf der nördlichen Hemisphäre das Nordende der Nadel nach Westen geht.

Auch die Inclination ist Variationen von 24stündiger Periode unterworfen, und zwar ist sie im Durchschnitt um 10 Uhr Morgens am grössten und um 10 Uhr Abends am kleinsten.

Dieselben Wendestunden zeigen auch die täglichen Variationen der totalen Intensität, nur zeigt sich hier ein entgegengesetzter Gang, indem das Maximum der totalen Intensität im Durchschnitt Abends um 10 Uhr, das Minimum Morgens um 10 Uhr eintritt.

266 **Magnetische Störungen.** Wenn man die Declinationsnadel mit Sorgfalt beobachtet, so zeigt sich, dass sie im Laufe eines Tages keineswegs so stetig von Ost nach West und dann wieder von West nach Ost geht, wie Tab. 23 Fig. 1 zeigt, welche ja nur als Durchschnittsresultat einer grossen Reihe von Beobachtungen gewonnen wurde. Von diesem in Fig. 1 dargestellten normalen Gange der Declinationsnadel weichen die wirklichen Schwankungen in der Lage des magnetischen Meridians, wie sie an einzelnen Tagen beobachtet werden, mehr oder weniger ab. Ueberhaupt aber ist die Bewegung der frei beweglichen Magnetnadel keineswegs eine gleichförmige, sondern sie geschieht immer mehr oder weniger stossweise, so dass der magnetische Meridian gewissermaassen bald nach Ost, bald nach West über seine Mittellage hinausschwankt. Diese Bewegungen kann man als Störungen des normalen Ganges der Nadel bezeichnen.

Humboldt, welcher sich schon in den Jahren 1799 bis 1804 durch die Bestimmung der magnetischen Constanten in den Aequinoctialgegenden Amerikas grosse Verdienste um die Kenntniss des Erdmagnetismus erworben hatte, veranlasste zur genauen Erforschung der magnetischen

Störungen, dass von 1828 bis 1830 zu Berlin, Freiberg, Nikolajew und Kasan an vorausbestimmten Tagen die Declinationsnadel stündlich beobachtet wurde, wobei sich ein merkwürdiger Parallelismus in der Bewegung der Nadeln verschiedener Orte herausstellte, der auch durch spätere Beobachtungen die vollste Bestätigung fand.

Einen grossartigen Aufschwung nahmen die erdmagnetischen Beobachtungen, nachdem Gauss durch Anwendung des Poggendorff'schen Spiegelapparats in seinem Magnetometer eine Vorrichtung construirt hatte, welche die geringsten Veränderungen in der Lage des magnetischen Meridians zu beobachten gestattete. Es wurden nun, von 1834 anfangend, an verschiedenen Orten Deutschlands und der benachbarten Länder nach demselben Princip construirte Apparate aufgestellt, um correspondirende Beobachtungen anzustellen, d. h. um an vorausbestimmten Terminen 24 Stunden lang die Variationen der Declinationsinstrumente von 5 zu 5 Minuten zu beobachten. Um die Beobachtungen genau gleichzeitig zu machen, wurde die Bestimmung getroffen, dass man überall nach Uhren beobachten sollte, welche nach Göttinger Zeit gerichtet sind. So entstand denn der von Gauss geleitete Verein, zu welchem im Jahre 1838 folgende Beobachtungsstationen gehörten:

Altona,	Genf,	London,
Augsburg,	Greenwich,	Mailand,
Berlin,	Haag,	Marburg
Breda,	Hannover,	München,
Breslau,	Heidelberg,	Petersburg,
Brüssel,	Kopenhagen,	Prag,
Christiania,	Krakau,	Seeberg,
Dublin,	Kremsmünster,	Stockholm,
Freiberg,	Leipzig,	Upsala.

Die in den „Resultaten des magnetischen Vereins" publicirten Terminsbeobachtungen bestätigten nun den schon erwähnten Parallelismus im Gange der an verschiedenen Orten aufgestellten Declinationsinstrumente, wie man dies wohl am besten aus der graphischen Darstellung der Terminsbeobachtungen sieht. So stellen denn die Fig. 2 und 3 auf Tab. 23 die Terminsbeobachtungen von Upsala, Göttingen und Mailand vom 26. auf den 27. Februar und vom 28. auf den 29. Mai 1841 dar, und zwar sind in diesen Figuren nur die von Stunde zu Stunde gemachten Beobachtungen eingetragen, während die graphischen Darstellungen des magnetischen Vereins, in ungleich grösserem Maassstabe ausgeführt, die Resultate der von 5 zu 5 Minuten angestellten Beobachtungen vollständig wiedergeben.

Die 24 Stunden dauernden Terminsbeobachtungen beginnen um 10 Uhr Abends.

Die oberste Curve gilt für Upsala, die mittlere für Göttingen, die unterste für Mailand.

Der Maassstab der Fig. 1 auf Tab. 24 und 25 ist derselbe wie der Maassstab der Fig. 2 und 3 der Tab. 23, und alle zum Verständniss der Tab. 23 gegebenen Erläuterungen gelten auch für diese Figuren.

Es versteht sich wohl von selbst, dass im Lauf einer Stunde der Gang der Declinationsnadel nicht etwa ein gleichförmiger ist, wie es in unseren Figuren die geraden Linien andeuten, welche je zwei auf einander folgende Beobachtungspunkte mit einander verbinden, sondern dass in der Zwischenzeit die Nadel gleichfalls nach der einen und anderen Seite ihres mittleren Ganges ausschlägt. Diese in kürzeren Zeitintervallen auftretenden Oscillationen können natürlich in den stündlichen Beobachtungen nicht wahrgenommen und in einer Zeichnung nicht ausgedrückt werden, welche nur nach den stündlichen Beobachtungen construirt ist.

Man sieht aus diesen Darstellungen, dass die Störungen in der Regel von der Art sind, dass sie den mittleren täglichen Gang noch deutlich hervorheben, dass also die Störungen als Oscillationen um den mittleren Gang der Declination auftreten. Diese nicht periodischen Schwankungen ändern sich nun von einem Tage zum anderen; an dem einen Tage sehr bedeutend, sind sie am anderen wieder sehr gering.

Im Allgemeinen fallen die Störungen der Declination um so bedeutender aus, je mehr man sich den Polargegenden nähert. So ging z. B. am 26. Februar 1841, Morgens von 3 bis 4 Uhr, die Declinationsnadel zu Upsala ungefähr um 12′, zu Göttingen nahe um 8′, zu Mailand um etwas über 5′ nach Westen.

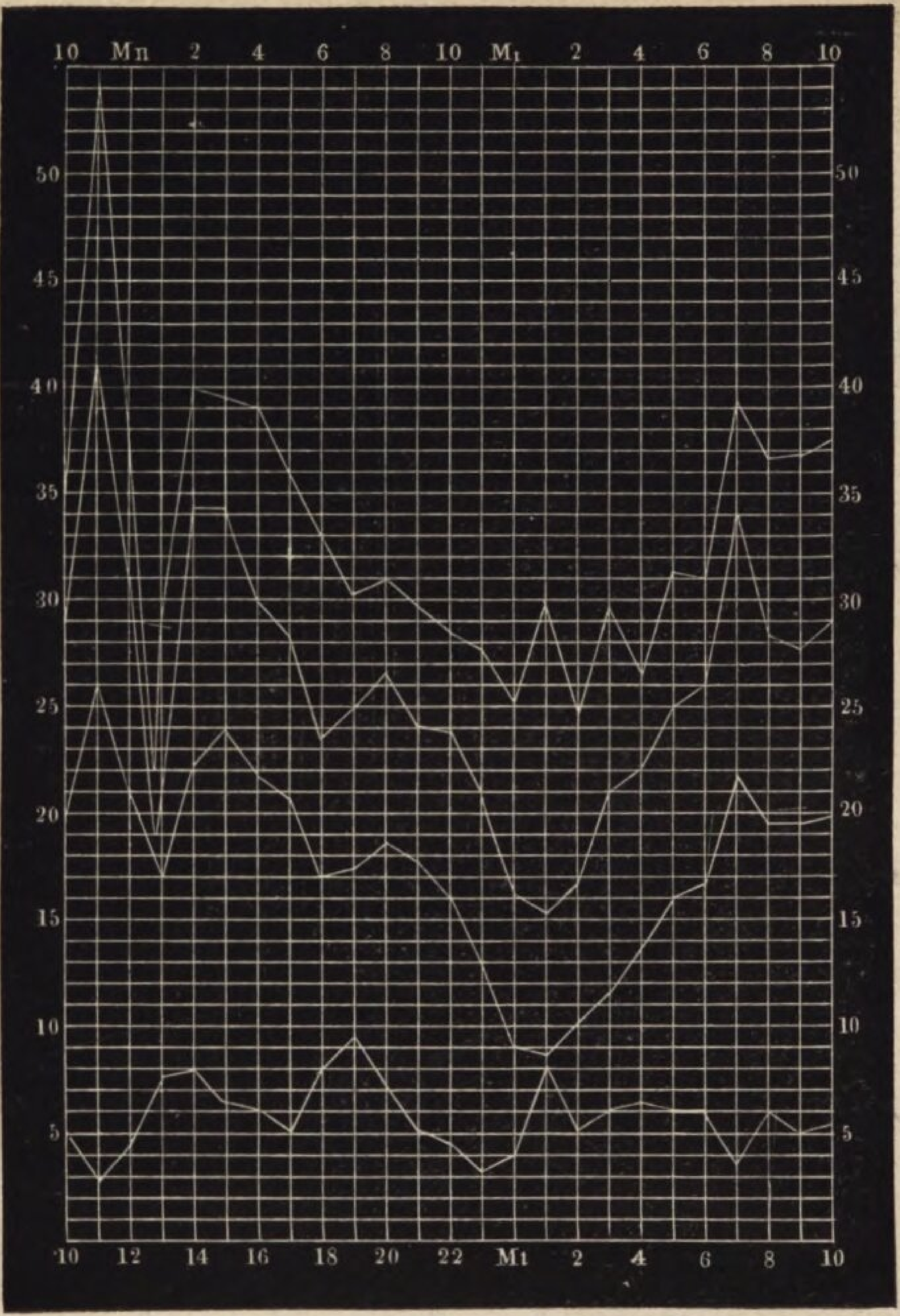
Die Terminszeichnungen Fig. 2 und 3 auf Tab. 23 liefern nun auch eine anschauliche Bestätigung der bereits oben schon ausgesprochenen Thatsache, dass die Störungen im Allgemeinen nicht localen Ursachen zugeschrieben werden können, indem dieselbe Schwankung in gleicher Richtung fast gleichzeitig an allen Orten derselben Hemisphäre eintritt, welche nahezu gleiche geographische Länge haben.

Auch ausserhalb Europa wurden nun bald durch die Unterstützungen verschiedener Regierungen, namentlich der englischen und russischen, magnetische Observatorien errichtet, wo nach demselben Plane beobachtet werden sollte, so namentlich zu Algier, Barnaul (Sibirien), Bombay, Cambridge (Nordamerika), Cap der guten Hoffnung, Madras, Nertschinsk, Philadelphia u. s. w. Dadurch wurde es nun möglich, auch die Störungen der südlichen Hemisphäre mit denen der nördlichen und die nicht periodischen Schwankungen östlicher gelegener Orte mit den gleichzeitigen Schwankungen weit nach Westen hin liegender zu vergleichen.

Fig. 1 Tab. 24 stellt die Terminsbeobachtungen der Declination vom 27. und 28. August 1841 zu Upsala, Göttingen, Mailand und dem Cap der guten Hoffnung dar. Die drei oberen Curven bestätigen, was bereits über die Curven Fig. 2 und 3 Tab. 23 gesagt worden ist, die unterste Curve aber zeigt, dass die Störungen auf der südlichen Hemi-

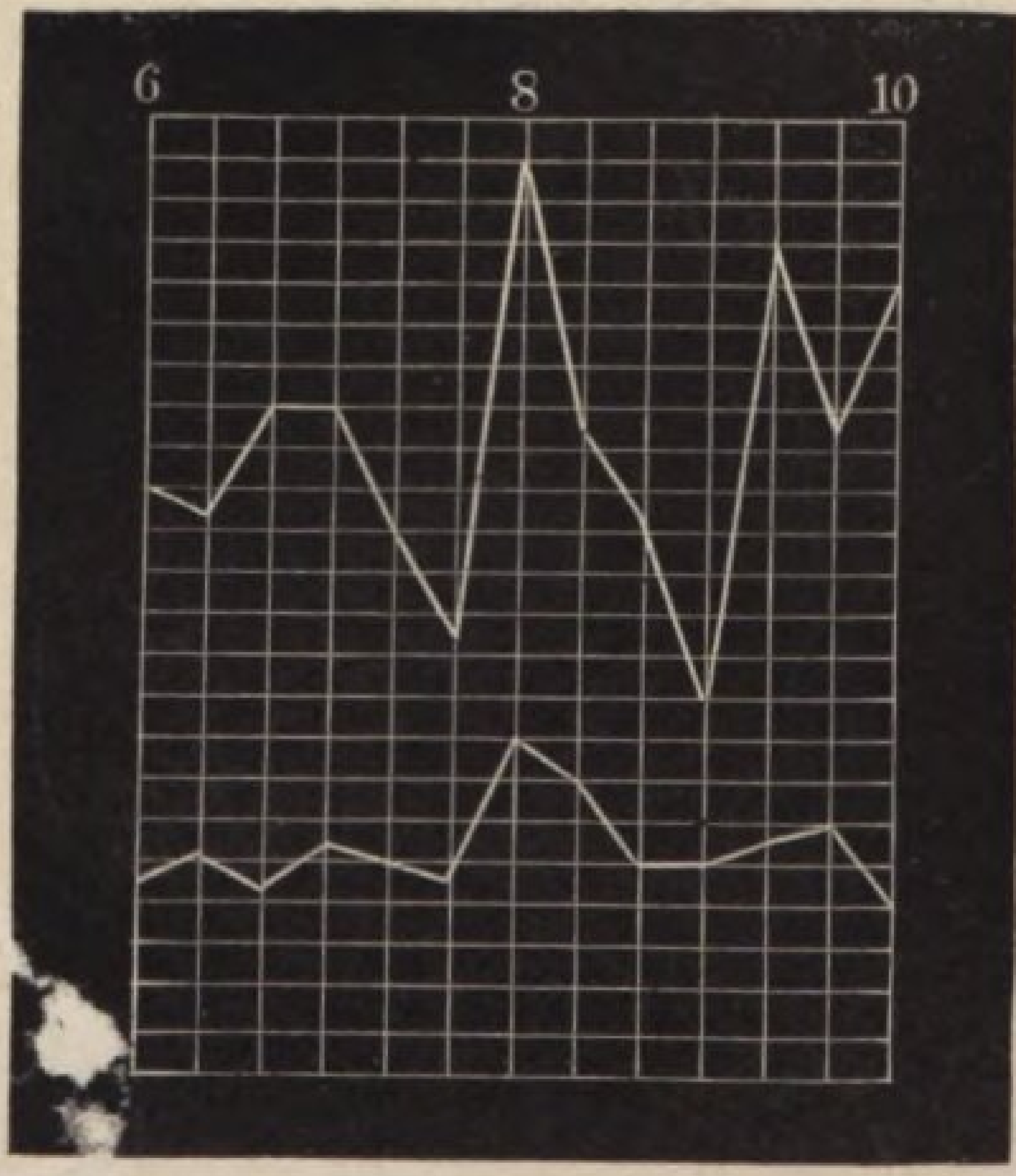
Tab. 24.

Fig. 1.



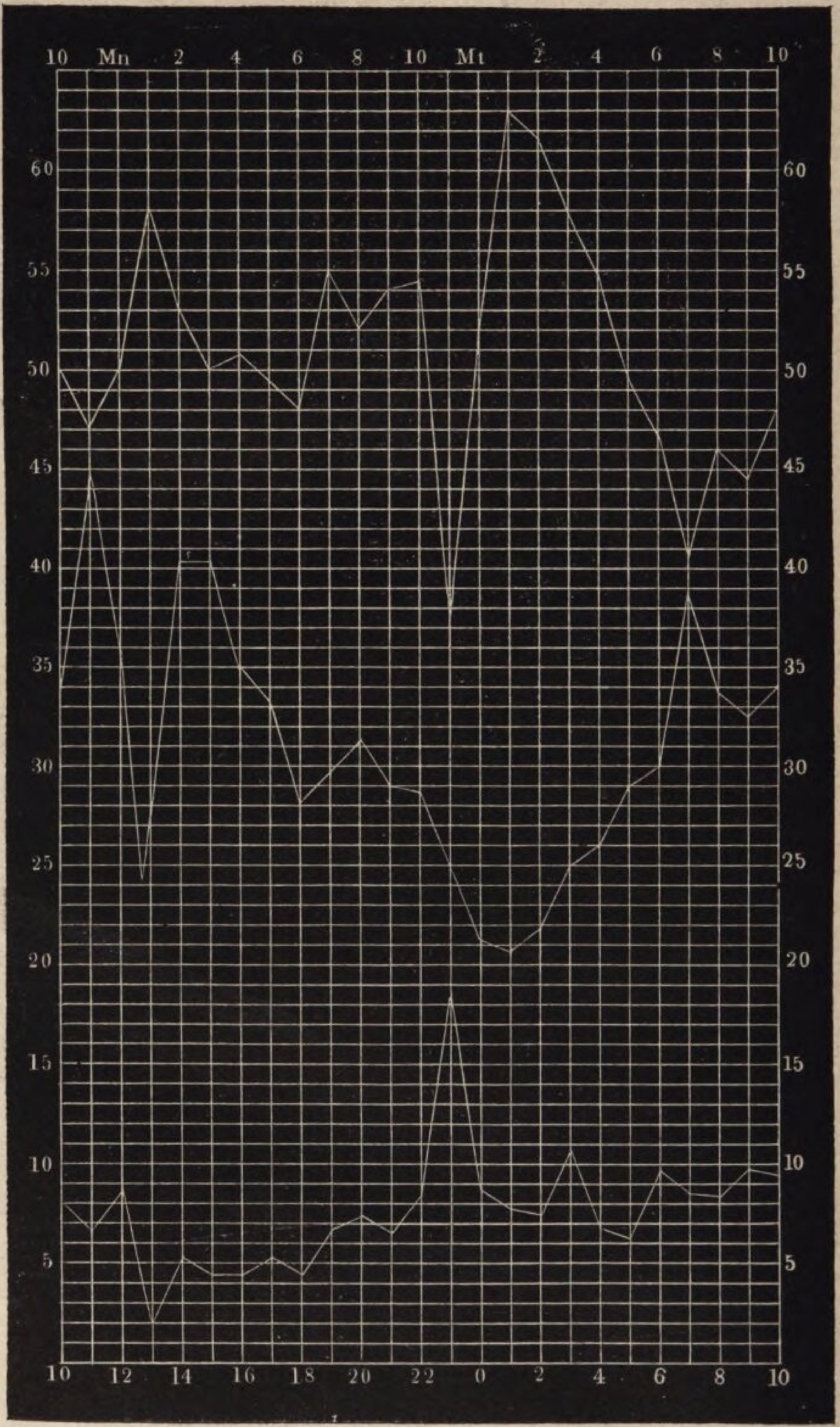
Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841.

Fig. 2.



Tab. 25.

Fig. 1.



Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841.

sphäre in fast vollkommenem Gegensatz zu den Schwankungen stehen, welche gleichzeitig an Orten der nördlichen Halbkugel stattfinden, die nahezu gleiche geographische Länge haben.

Für verschiedene Orte, welche nahezu gleiche geographische Breite, aber verschiedene Länge haben, zeigt sich gleichfalls ein Zusammenhang in den Störungen, aber in anderer Weise. Wenn zu irgend einer Zeit an einem bestimmten Orte eine besonders starke Störungsschwankung stattfindet, so wird sie nach Ost und nach West hin in gleicher Richtung, aber mit abnehmender Stärke auftreten; 90^0 östlich und 90^0 westlich von dem Orte, wo die Schwankung im Maximum auftritt, wird in demselben Momente gar keine oder nur eine unbedeutende Schwankung beobachtet, auf der anderen Hälfte des Parallels aber haben die gleichzeitigen Störungsschwankungen eine entgegengesetzte Richtung, und zwar zeigt sich ein östliches Maximum 180^0 von dem Punkte entfernt, wo gerade das westliche Maximum auftritt.

Es wird dies gleichfalls sehr gut durch die Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841 erläutert, nach welchen in Fig. 1 Tab. 25 der gleichzeitige Gang der Declinationsnadel für Toronto (am Ontario-See), Göttingen und Nertschinsk dargestellt ist. Die mittlere dieser drei Curven, welche für Göttingen gilt, haben wir bereits in Fig. 1 Tab. 24 kennen gelernt. Die oberste der drei Curven gilt für Toronto, die unterste für Nertschinsk. Toronto und Nertschinsk sind ungefähr um 180 Längengrade von einander entfernt und Göttingen liegt nahezu gleichweit von beiden entfernt.

Hier sehen wir nun, dass während der bedeutenden Schwankungen, welche zu Göttingen zwischen dem 27. August 10 Uhr Abends und dem 28. August 2 Uhr Morgens stattfanden, die Declinationsnadel zu Toronto und zu Nertschinsk nur eine unbedeutende Bewegung zeigte; während dagegen am folgenden Tage zu Göttingen zwischen 10 und 12 Uhr Vormittags die Declinationsnadel ziemlich ruhig dem normalen Gange folgte, sehen wir zu Toronto und Nertschinsk bedeutende Schwankungen eintreten, und zwar zu Nertschinsk in entgegengesetzter Richtung wie zu Toronto.

Fig. 2 auf Tab. 24 stellt in grösserem Maassstabe als die letzten Figuren den gleichzeitigen Gang der Declinationsstörungen dar, wie sie am 23. Februar von 6 bis 10 Uhr Abends (Göttinger Zeit) zu Upsala und zu Alten in Finnmarken durch Lottin, Bravais und Martins beobachtet wurden; die obere Curve gilt für Alten, die untere für Upsala. Man sieht hier auf den ersten Blick, dass die schöne Uebereinstimmung, welche stets in den Variationen von Catania in Sicilien bis Upsala gefunden wurde, weiter nach Norden aufhört, so dass man bei Vergleichung der Curven von Alten und Upsala, trotz der verhältnissmässig geringen Entfernung beider Orte kaum erkennen würde, dass sie sich auf denselben Termin beziehen. Aehnliche Resultate liefern auch

andere Beobachtungen. Ueberhaupt sind die Störungen in den Polargegenden ausserordentlich gross und von gänzlich veränderter Gestalt.

Die Inclination und die Intensität sind ähnlichen Störungen unterworfen, wie die Declination.

267 **Ursache der magnetischen Störungen.** Was den Zusammenhang der magnetischen Störungen mit anderen Naturerscheinungen betrifft, so vermuthete man, dass wohl Gewitter einen Einfluss auf die Magnetnadel ausüben müssten. — Diese Erwartung hat sich nicht bestätigt, genaue Beobachtungen haben gezeigt, dass die Magnetnadel selbst durch die heftigsten Gewitter nicht afficirt wird. So beobachtete z. B. Lamont im Jahre 1842 das Magnetometer gerade in dem Augenblicke, wo der Blitz in der Nähe des Observatoriums auf freiem Felde einschlug, ohne dass er eine auffallende Bewegung der Nadel wahrnehmen konnte.

Anders verhält es sich mit Erdbeben und vulcanischen Ausbrüchen, welche älteren und neueren Beobachtungen zufolge meist von bedeutenden magnetischen Störungen begleitet sind. So sah Bernouilli im Jahre 1767, dass während eines Erdbebens die Inclination um $^1/_2$ Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Vesuvs bemerkte Pater de la Torre, dass die Declination um mehrere Grade variirte.

Am 18. April 1842 um 9 Uhr 10 Minuten beobachtete Kreil in Prag gerade das Declinationsinstrument, als die Nadel plötzlich einen so starken Stoss erhielt, dass die Scala über das Gesichtsfeld des Fernrohrs hinausfuhr. Dieselbe Oscillation wurde in demselben Augenblicke und zwar in gleicher Richtung auch von Cella in Parma und von Lamont in München beobachtet, und kurze Zeit darauf erfuhr man, dass in derselben Minute in Griechenland ein heftiges Erdbeben stattgefunden hatte.

In einem sehr innigen Zusammenhange mit den magnetischen Störungen stehen auch die Nordlichter, welche wir in den folgenden Paragraphen besprechen wollen.

Ueber die Ursache der magnetischen Störungen lässt sich nicht wohl eher eine zuverlässige Ansicht gewinnen, als man weiss, wo man eigentlich den Sitz der erdmagnetischen Kräfte zu suchen habe. Geleitet durch die Unregelmässigkeiten im Verlauf der magnetischen Curven, welche bereits auf Seite 749 erwähnt wurden, hat es Lamont höchst wahrscheinlich gemacht, dass der Sitz des Erdmagnetismus in einem compacteren Kerne zu suchen sei, welcher sich unter der weniger dichten Erdrinde befindet, auf welcher wir leben.

Da wir nun aber wissen, dass das Innere der Erde sich in feurigflüssigem Zustande befindet, so besteht demnach die feste Erdrinde aus zwei Schichten; einer weniger dichten, unter der sich dann eine compactere befindet, welche der Sitz des Erdmagnetismus ist. Diese magnetische Schicht, welche man sich als eine metallische, oder mit zahlreichen Adern von Eisen durchzogene vorstellen kann, ist im Allgemeinen eben-

falls von kugelförmiger Gestalt, aber sie ist, wie die äussere Erdoberfläche, mit mehr oder minder beträchtlichen Erhöhungen versehen. An solchen Stellen unserer Erdoberfläche nun, welche gerade über den höchsten Gipfeln dieser unterirdischen magnetischen Gebirge liegen, wird offenbar der Erdmagnetismus stärker vortreten und es ist somit klar, dass die uns noch unbekannte Lage dieser magnetischen Hervorragungen einen wesentlichen Einfluss auf den Lauf der magnetischen Curven haben muss.

Nach dieser Hypothese begreift man nun sehr gut, dass Erdbeben und namentlich Ausbrüche von Vulcanen stets von mehr oder weniger starken magnetischen Störungen begleitet sein müssen, denn bei jedem Ausbruche eines Vulcans muss diese magnetische Kruste durchbrochen werden, und bei jedem Erdbeben erleidet dieselbe mehr oder weniger bedeutende Erschütterungen.

Die magnetischen Störungen, welche wir in den letzten Paragraphen besprochen haben, beweisen, dass der magnetische Zustand dieser magnetischen Schicht keineswegs unverändert derselbe bleibt, dass er vielmehr mannigfachen Variationen unterworfen ist, welche theils allmälig vor sich gehen, und von welchen die seculären Schwankungen herrühren, theils aber auch an eine tägliche Periode gebunden sind. Diese periodischen Variationen gehen aber nicht stetig vor sich, sondern es finden stets stossweise Schwankungen um den mittleren magnetischen Zustand Statt.

Am einfachsten kann man sich von diesen Variationen und Schwankungen Rechenschaft geben, wenn man den Erdmagnetismus von elektrischen Strömen ableitet, welche den fraglichen Kern in stets veränderlicher Stärke und Richtung durchziehen. Die tägliche Periode der magnetischen Variationen scheint aber darauf hinzudeuten, dass wir hier mit thermo-elektrischen Strömen zu thun haben.

Das Nordlicht. In den winterlichen Gegenden jenseits des 268
nördlichen Polarkreises, wo die Sonne je nach der grösseren geographischen Breite um die Zeit des Wintersolstitiums Wochen und Monate lang unter dem Horizonte steht, werden die langen Nächte häufig durch die prachtvolle Erscheinung des Nordlichtes (Aurora borealis) erhellt, dessen eigentliches Wesen uns noch räthselhaft ist, und welches hier in diesem Capitel nur deshalb abgehandelt wird, weil dasselbe, wie wir bald sehen werden, in mannigfacher Beziehung zum Erdmagnetismus steht.

Je weiter man sich vom Pole entfernt, desto seltener und desto weniger brillant wird die Erscheinung des Nordlichtes. Die letzten ausgezeichneten Nordlichter, welche man in Deutschland zu beobachten Gelegenheit hatte, sind die vom 7. Januar 1831, vom 18. October 1836 und vom 25. October 1870. u. 4 Februar 1872

Die Erscheinung dieser Nordlichter, namentlich des vom Jahre 1831, kommt im Wesentlichen mit der Darstellung auf Tab. XXVII überein. Es ist dies die Copie eines schönen Bildes, welches der durch seine nor-

wegischen Landschaften rühmlichst bekannte Maler August Becker von Darmstadt ausgeführt hat. Diese Darstellung veranschaulicht den Grundtypus der häufigsten Form, in welcher in Deutschland sowohl wie auch im südlichen Schweden und Norwegen die Nordlichter beobachtet werden.

Den gleichen Grundcharakter trägt auch die Abbildung eines zu Loch Leven in Schottland beobachteten Nordlichtes, welche in der Schlussvignette dieses Capitels wiedergegeben ist.

In der Erscheinung des Nordlichtes findet eine grosse Mannigfaltigkeit Statt, und um diese dem Leser vorzuführen, dürfte es wohl am geeignetsten sein, die Beschreibung naturkundiger Männer anzuführen, welche das Nordlicht in höheren Breiten in seiner ganzen Pracht und Herrlichkeit zu beobachten Gelegenheit hatten.

Nach den von Argelander in Abo gemachten Erfahrungen verkündigt ein eigenthümliches, schmutziges Ansehen des nördlichen Himmels in der Nähe des Horizontes dem aufmerksamen und geübten Beobachter schon im Voraus das Erscheinen eines Nordlichtes. Bald wird die Farbe dunkler und es zeigt sich ein Kreissegment von geringerer oder grösserer Ausdehnung mit einem leichten Saume eingefasst. Dieses Segment hat vollkommen das Aussehen einer dunklen Wolkenbank. Eben dieses sagen auch andere Beobachter. Dieses dunkle Segment ist auch von solchen Beobachtern in Deutschland gesehen worden, welche auf das schöne Nordlicht vom 7. Januar 1831 frühzeitig genug aufmerksam wurden. In sehr hohen Breiten ist dieses Segment ganz unmerklich.

Auch Mairan in seinem „Traité des Aurores boreales", Paris 1744, sagt, dass die grossen Nordlichter kurz nach dem Ende der Dämmerung beginnen und dass man dann gegen Norden hin einen ziemlich dunklen Nebel wahrnimmt. Dieser Nebel nimmt dann die Gestalt eines Kreissegmentes an, welches sich zu beiden Seiten auf den Horizont stützt. Der sichtbare Theil des Umfanges wird darauf von einem weissen Lichte gesäumt, aus welchem ein oder mehrere Lichtbogen entstehen, wozu dann endlich noch die verschiedenfarbigen, von dem dunklen Segmente ausgehenden Strahlen kommen.

Manchmal, wenn auch sehr selten, erscheint das dunkle Segment in der Nähe des Randes symmetrisch durchbrochen, so dass man gleichsam eine Feuersbrunst durch die Oeffnungen wahrzunehmen glaubt, Fig. 380 (a. f. S.). Dieses eigenthümliche Meteor hat Mairan selbst am 19. October 1726 zu Brouelle-Pont beobachtet.

Durch dieses dunkle Segment hindurch kann man die helleren Sterne mit blossem Auge sehen, eine Thatsache, welche bereits von älteren Beobachtern berichtet und auch von neueren bestätigt worden ist. So sahen z. B. Kries in Gotha und Gerling in Marburg bei dem Nordlicht vom 7. Januar 1831 α lyrae hell durch das dunkle Segment strahlen.

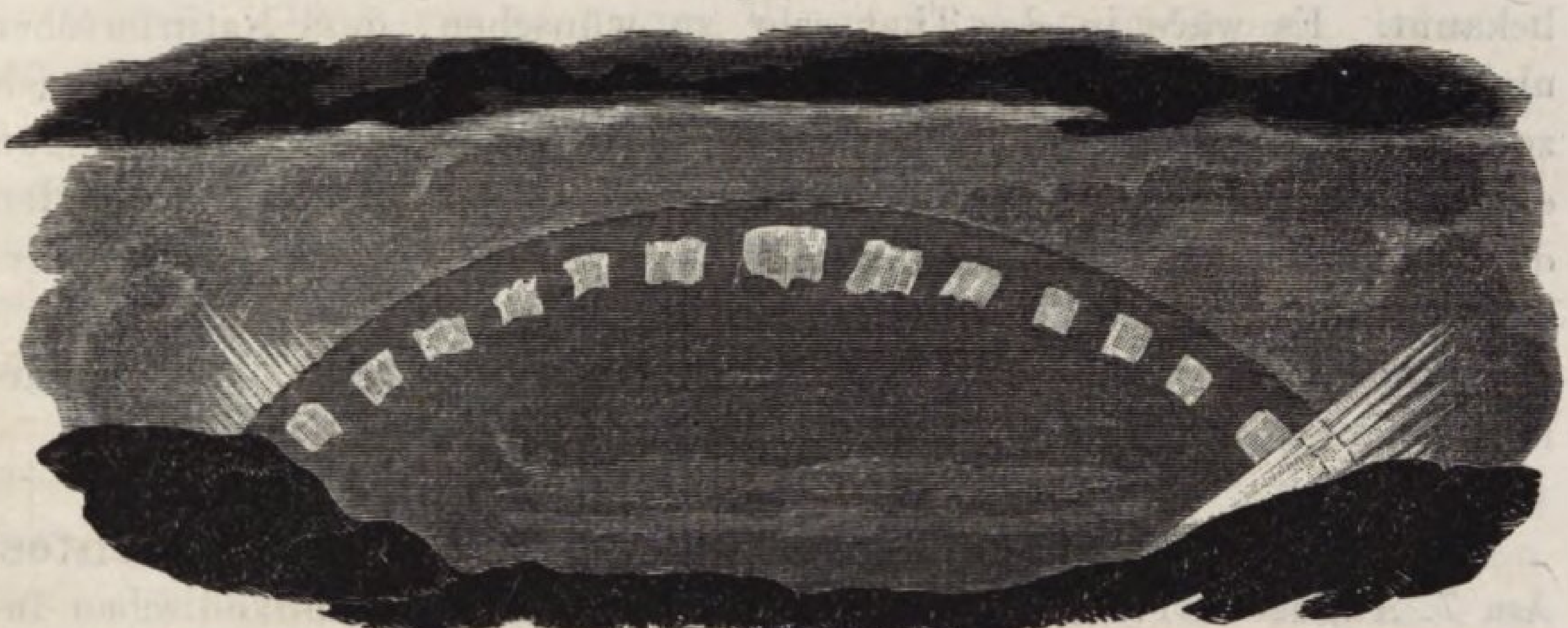
Das eigentliche Wesen dieses dunklen Segments wird namentlich durch den zuletzt angeführten Umstand sehr räthselhaft; Einige, z. B. Struve, sind geneigt, es nur durch den Contrast zu erklären. Dieser

Ansicht widerspricht aber die Thatsache, dass das Segment schon in der Dämmerung sichtbar wird, ehe noch eine Lichtentwickelung des Nordlichtes auftritt, und somit muss man wohl mit Argelander hier das Dasein einer wirklichen Materie annehmen.

Das dunkle Segment wird von einem meist bläulichweissen hellen Lichtbogen gesäumt, dessen Breite zwischen 1 bis 6 Vollmondbreiten schwankt. Ebenso verschieden wie die Breite ist auch die Ausdehnung des Saumes, welche zuweilen nur 25 bis 30, zu anderen Zeiten bis nahe 180 Grad beträgt, wonach dann auch die Höhe über dem Horizonte sehr verschieden ausfällt.

Der untere Rand dieses Bogens ist scharf begränzt, der obere nur, wenn er sehr schmal ist; wenn er breiter ist und verwaschen erscheint,

Fig. 380.



so verbreitet er ein lebhaftes Licht und erhellt den ganzen Himmel eben so stark, wie der Vollmond eine halbe Stunde nach seinem Aufgange.

Bei sehr lebhaften Nordlichtern zeigen sich oft mehrere concentrische Lichtbogen.

Wenn der Lichtbogen einmal gebildet ist, so bleibt er oft mehrere Stunden lang sichtbar, er ist aber dabei in beständiger Bewegung. Er hebt und senkt sich, er dehnt sich aus nach Ost und nach West, er wird bald da, bald dort zerrissen. Diese Bewegungen werden besonders bemerklich, wenn das Nordlicht sich ausdehnt und Strahlen zu schiessen beginnt. Der Bogen wird nun an irgend einer Stelle leuchtender und beginnt Strahlen zu schiessen, welche unten gleichsam in das dunkle Segment einfressen. Die Breite dieser hell leuchtenden Strahlen ist ungefähr dem halben Monddurchmesser gleich. Solche Strahlen schiessen mit der Schnelligkeit eines Blitzes empor, theilen sich oben; sie werden bald länger, bald kürzer, bewegen sich bald nach Ost, bald nach West, und krümmen sich wie ein vom Winde bewegtes Band. Wenn diese in stetem Wechsel der Form, der Lage und des Glanzes befindlichen Strahlen sehr hell werden, so erscheinen sie bald in grünlichem, bald in tief rothem Lichte. Wenn die Strahlen kurz sind, so hat der Lichtbogen das Ansehen eines gezahnten Kammes.

Oefters ereignet es sich, dass die leuchtenden Strahlen, welche von allen Theilen des östlichen, nördlichen und westlichen Horizontes auflodern, bis über den Scheitel des Beobachters hinaus aufschiessen und dann durch ihre Vereinigung eine glänzende Krone bilden, deren Mittelpunkt wenigstens im nördlichen Europa noch einige Grade südöstlich vom Zenith liegt. Bestimmt man die scheinbare Lage dieser Krone mit Hülfe eines astronomischen Instrumentes oder durch die Beobachtung der Sterne, die sich bei ihrem Entstehen in jener Gegend zeigen, so findet sich, dass der Mittelpunkt der Krone durch diejenige Stelle des Himmels gebildet wird, nach welcher das obere Ende einer im magnetischen Meridian frei beweglichen Inclinationsnadel hinweist.

Leider fehlen uns gute Abbildungen dieser in der Nähe des Zeniths sich bildenden Nordlichtskrone gänzlich; mir ist wenigstens keine solche bekannt. Es wäre in der That sehr zu wünschen, dass Naturforscher und Maler, welche Gelegenheit haben, diese nur in höheren Breiten sich zeigende Form des Nordlichtes zu beobachten, davon getreue Zeichnungen entwerfen und veröffentlichen möchten, um es auch solchen Freunden der Naturforschung zur Anschauung zu bringen, welchen es nicht vergönnt ist, dieses herrliche und seltene Phänomen selbst zu sehen.

Gehen wir nun zu der Beschreibung über, welche namhafte Naturforscher von den durch sie beobachteten Nordlichtern gegeben haben.

269 **Beschreibung eines von Biot beobachteten Nordlichtes.** Am 7. August 1817 hatte Biot Gelegenheit, auf den Shetländischen Inseln ein grosses Nordlicht zu beobachten, von welchem er folgende Beschreibung giebt:

„Man erblickte zunächst in Nordost einige schmale Lichtstrahlen, die nicht hoch über den Horizont hinaufstiegen, und nachdem sie eine Zeitlang da gestanden hatten, verlöschten. Nach anderthalb Stunden erschienen sie wieder in derselben Himmelsgegend, aber viel stärker, glänzender und ausgedehnter. Bald fingen sie an, über dem Horizonte einen regelmässigen Bogen nach Art des Regenbogens zu bilden. Anfangs war der Umkreis desselben nicht vollendet, aber nach und nach nahm er an Oeffnung und Weite zu, und nach einigen Augenblicken sah ich von Westen her die andere Hälfte ankommen, die sich in einem Augenblicke erhob, begleitet von einer Menge leuchtender Strahlen, die von allen Seiten des nördlichen Horizontes hinzuliefen. Dieser Bogen war anfangs schwankend und unentschieden, als habe sich die Materie, die ihn bildete, noch nicht fest und bleibend geordnet; aber bald kam er zur Ruhe und erhielt sich dann in seiner ganzen Schönheit über eine Stunde lang, wobei er nur eine fast unmerklich fortschreitende Bewegung nach Südost hatte, als wenn ihn der schwache Nordwestwind, welcher damals wehte, dorthin führte. Ich hatte daher volle Zeit, ihn mit Musse zu betrachten, und seine Lage mit dem Repetitionskreise, welcher mir zu astronomischen Beobachtungen dient, zu bestimmen. Er umspannte

einen Bogen des Horizontes von 128° 42′ und sein Mittelpunkt befand sich genau im magnetischen Meridian. Der ganze Himmelsraum, den dieser grosse Bogen nach Nordwest zu begränzte, wurde unaufhörlich von leuchtenden Strahlen durchfurcht, deren verschiedene Gestalten, Farben und Dauer meinen Geist nicht weniger als meine Augen beschäftigten."

„Gewöhnlich war jeder dieser Strahlen, wenn er anfing zu erscheinen, ein blosser Strich weisslichen Lichtes; schnell aber nahm er an Grösse und an Glanz zu, wobei er manchmal sonderbare Veränderungen in Richtung und Krümmung zeigte. Hatte er seine vollkommene Entwickelung erreicht, so verengte er sich zu einem dünnen, geradlinigen Faden, dessen in der Regel äusserst lebhaftes und glänzendes Licht von sehr bestimmter rother Farbe war, dann allmälig schwächer ward und endlich erlosch, häufig genau an der Stelle, wo der Strahl angefangen hatte zu erscheinen. Dass eine so grosse Menge Strahlen fortdauert, jeder an seinem scheinbaren Orte, während der Glanz derselben unendlich viele Abwechselungen erleidet, scheint zu beweisen, dass das Licht dieser Strahlen kein reflectirtes, sondern eigenes Licht ist, und sich an dem Orte selbst entwickelt, wo man es sieht; auch habe ich darin nicht die geringste Spur von Polarisation entdecken können, welche das reflectirte Licht charakterisirt."

„Alle diese Strahlen und der Bogen selbst befanden sich in einer grösseren Höhe als die Wolken, denn diese bedeckten sie von Zeit zu Zeit, und die Ränder der Wolken schienen von ihnen erhellt zu sein. Auch der Mond, welcher damals hoch über dem Horizonte stand, erleuchtete dieses erhabene Schauspiel, und die Ruhe seines Silberlichtes bildete den sanftesten Contrast mit der lebhaften Bewegung der glänzenden Strahlengarben, mit welchen das Meteor die Luft übergoss."

Beschreibung des grossen Nordlichtes von 1836. Bessel giebt von dem schönen Nordlichte, welches am 18. October 1836 270
erschien, folgende Beschreibung: „Bald nach dem Untergange der Sonne zeigte sich, westlich von Norden, eine Helligkeit des Himmels, welche man einem Nordlichte zuschreiben konnte, zumal da ihre Mitte etwa in der Richtung des magnetischen Meridians lag, und da einige Tage vorher auch Nordlichter erschienen waren. Denn die Nordlichter haben meistentheils ihren Mittelpunkt in dieser Richtung, und es ist nicht ungewöhnlich, dass sie sich in kurzer Zeit wiederholen. Das erste Nordlicht, welches ich in diesem Herbste gesehen habe, war am 11., ein zweites erschien am 12. October. Jenes gehörte zu den schöneren, indem es häufige Strahlen über den Polarstern hinauftrieb; dieses erhob sich nur wenig über den Horizont und zeigte keine Strahlen. Das am 18. October erscheinende entwickelte sich so vollständig, dass es wenigstens für unsere Gegenden zu den sehr seltenen Erscheinungen gehört, und an die schöne Beschreibung von Maupertuis erinnert, den die Nordlichterpracht in Tornea entzückte, als er sich, jetzt gerade vor 100 Jahren, daselbst be-

fand, um eine denkwürdige wissenschaftliche Unternehmung rühmlich auszuführen.

„Unser Nordlicht zeigte zunächst einen röthlichen Schimmer, welcher mehrere Theile des nördlichen Himmels bedeckte, aber wenig lebhaft und von kurzer Dauer war. Dann strömte die Gegend um seinen Mittelpunkt herum häufige Strahlen aus, welche, wie es bei Nordlichtern gewöhnlich ist, in wenigen Augenblicken entstanden, fast bis zu dem Scheitelpunkte aufschossen, wieder verschwanden und durch neue ersetzt wurden. Diese Strahlen sind geraden Kometenschweifen durchaus ähnlich; oft drängen sich so viele zusammen, dass sie an die geraden Bäume eines dichten Tannenwaldes erinnern; ihr Licht pflegt nicht so lebhaft zu sein, dass so heller Mondschein, als der des 18. October war, die Schönheit ihres Anblickes und ihrer fortwährenden Aenderungen nicht beeinträchtigen sollte.

„Bis hierher war die Erscheinung von der des 11. October und von denen, die sich in diesen Gegenden zu gewissen Zeiten nicht selten zeigen, nicht wesentlich verschieden. Allein um $7\frac{1}{4}$ Uhr erschienen zwei Strahlen, welche sich sowohl durch ihre Lebhaftigkeit als auch durch die Himmelsgegenden, wo sie sich befanden, auszeichneten. Beide entstanden an entgegengesetzten Punkten des Horizontes, der eine etwa 15 Grad nördlich von Osten, der andere eben so weit südlich von Westen. Sie schossen in Richtungen aufwärts, welche südlich von dem Scheitelpunkte vorbeigingen. Sie hatten die Helligkeit hoher weisser, durch starkes Mondlicht erleuchteter Strichwolken. Man sah deutlich, dass die Ausströmung, welche sie erzeugte, kräftig unterhalten wurde, denn ihre Verlängerungen und Verkürzungen waren gross und schnell. Als diese Strahlen kaum entstanden waren, zeigte sich an dem nördlichen Rande jedes derselben ein Auswuchs; beide Auswüchse verlängerten sich und näherten ihre Enden, so dass sie bald zusammenstiessen und nun einen Bogen bildeten, welcher beide Strahlen mit einander verband, und dessen höchster Punkt etwa 30 Grad nördlich von dem Scheitelpunkte lag. Dieser Bogen erschien, so wie die Strahlen, von welchen er ausging, in lebhaftem weissen Lichte, und würde vermuthlich einen noch weit schöneren Anblick gewährt haben, wenn nicht der Mond seinen Glanz geschwächt hätte. Indessen blieb er nicht lange Zeit in seiner anfänglichen Lage; er bewegte sich dem Scheitelpunkte zu, ging dann über ihn hinaus auf die Südseite und kam auf dieser bis zu einer Entfernung von 40 bis 45 Graden, wo er sich nach und nach wieder verlor. Ehe dies geschah, nahm er auf der Westseite eine unregelmässige Krümmung an und zeigte sich sehr auffallend schlangenförmig; auf der Ostseite blieb er bis zu seiner gänzlichen Auflösung regelmässig gekrümmt.

„Nach dem Verschwinden dieses Bogens zeigte das Nordlicht nur noch eine beträchtliche Helligkeit am nördlichen Himmel, welche, trotz des Mondscheines, oft bis zu der Höhe von 30 Graden wahrgenommen werden konnte. Hin und wieder schoss es einzelne blasse Strahlen auf-

wärts, welche jedoch mit keinen ungewöhnlichen Erscheinungen verbunden waren. Allein um $9\frac{1}{2}$ Uhr wurde sein Ansehen prachtvoll; die Nordhälfte des Himmels bedeckte sich mit einer rothen Farbe, welche so satt wurde, dass sie nur mit der Farbe des Karmins verglichen werden kann; dabei war ihr Licht so stark, dass es, trotz des Mondlichtes, sichtbaren Schatten verursachte. Diese Röthe des Himmels ging in Norden nicht bis zu dem Horizonte herab, sondern ein bogenförmiger Raum, dessen Scheitel etwa 30 Grad Höhe haben mochte, blieb ungefärbt.

„Ueber diesem freien Raume sah der Himmel aus, als würde er durch einen Vorhang von einem hochrothen, durchsichtigen Stoffe bedeckt. Hinter dem Vorhange schossen blendend weisse Strahlen hervor, welche durch ihn hindurch schimmerten. Einige glänzende Sternschnuppen, welche sich an dem verhängten Theile des Himmels zeigten, vermehrten noch die Pracht und die Abwechselung der Scene.

„Etwa nach einer Viertelstunde trennte sich der rothe Vorhang, um den in der Richtung des magnetischen Nordens liegenden Theil des Himmels wieder in seiner gewöhnlichen Farbe erscheinen zu lassen. Der ungefärbte Raum vergrösserte sich nun nach beiden Seiten, und bald war keine rothe Farbe mehr, sondern nur noch eine Helligkeit am nördlichen Horizonte sichtbar.

„Zum Schlusse führe ich noch an, dass, nach Maupertuis, die hochrothe Farbe des Himmels auch in Tornea so selten vorkommt, dass allerlei Aberglauben daran geknüpft wird, dass aber alle anderen Färbungen häufig sind. Es scheint daher, dass unser Nordlicht selbst für höhere Breiten eine ungewöhnliche Erscheinung gewesen sein würde.“

Matteucci, welcher das Nordlicht vom 18. October 1836 zu Forli im Kirchenstaate beobachtete, giebt davon folgende Beschreibung: „Es war 9 Uhr Abends, als ein schwach röthliches Licht sich gegen Norden hin zeigte. Es erstreckte sich auf eine Weite von 70 bis 80^0 und erhob sich zu 25 bis 30^0. Seine Gestalt war in den unteren Partien kreisförmig; seine Entfernung vom Horizonte konnte 7 bis 8^0 betragen. 23 Minuten nach seinem ersten Hervortreten nahm das Licht eine lebhafte Purpurfarbe an, eine dunklere centrale Linie, welche man darin bemerkte, ging nach Westen. Die Erscheinung verschwand durch allmäliges Erblassen.“

Das Nordlicht vom 24. und 25. October 1870. In den 271
Abendstunden des 24. und 25. October 1870 wurde ein Nordlicht von aussergewöhnlicher Pracht in einem grossen Theile Europas beobachtet. Tab. XXVIII ist die der Illustrirten Zeitung entnommene Darstellung desselben, wie es zu Dresden beobachtet wurde. Das genannte Blatt giebt folgende Beschreibung des Phänomens:

„Am Abend des 23. October nach Sonnenuntergang bemerkte man einen hellen Schein am nordwestlichen Himmel, den man indess wenig beachtete, weil man glaubte, er rühre wohl noch von der untergegangenen Sonne her; aber am 24. October entwickelte sich aus einem ähn-

lichen Schein ein prächtiges Nordlicht, dessen dunkelrosige Gluth am stärksten im Sternbild des Grossen Bären hervortrat. Es gestaltete sich in der sechsten Abendstunde am schönsten. Aus einem flachen Bogen, der von Nordost bis Südwest gespannt war, erhoben sich die glänzend rothen durchsichtigen Strahlenbüschel in drei Hauptpartien bis über den Zenith des Himmelsgewölbes. Am südwestlichen Ende strahlte eine einzige dunkelrothe Säule fast über den ganzen Himmel. Nachdem die schöne Erscheinung schwächer geworden, flammte in der achten Stunde das Licht noch einmal auf und jetzt zweigetheilt, der Lichtschein in Nordost war oben heller und leuchtender als der des anderen Theils, der sich im Norden indess höher nach dem Zenith erstreckte als der nordöstliche.

Am 25. Abends gleich nach Sonnenuntergang wiederholte sich die Erscheinung. Zuerst leuchtete ein deutlich abgegränzter Bogen mit weissgrünem Lichte über dem nördlichen Horizont. Das weissgrüne Licht nahm einen röthlichen Saum nach oben an, der dann mit rothem Lichte immer grösser und heller ward, dessen Strahlen aber undeutlich in einander verschwammen.

272 **Beschreibung der von Lottin zu Bossekop beobachteten Nordlichter.** Der Schiffslieutenant Lottin, Mitglied einer nach dem Norden ausgesendeten wissenschaftlichen Expedition, hatte während des Winters von 1838 auf 1839 Gelegenheit, die Erscheinung des Nordlichtes zu Bossekop, im norwegischen Amte Finnmarken, unter dem 70. Grade nördlicher Breite, zu beobachten.

Bossekop liegt an einem vielbuchtigen Fiord, in welches sich das Flüsschen Alten ergiesst, umgeben von Tannenwäldern und Schneebergen, deren Kamm sich zu einer Höhe von 5 bis 7^0 über den Horizont erhebt.

Vom September 1838 bis zum April 1839, in einem Zeitraume von 206 Tagen, beobachtete man daselbst 143 Nordlichter, und zwar 64 während der längsten Nacht, welche in jenen Gegenden vom 17. November bis zum 25. Januar dauert. Lottin beschreibt das Phänomen in folgender Weise.

„Des Abends zwischen 4 und 8 Uhr färbt sich der obere Theil des leichten Nebels, welcher fast beständig nach Norden hin in einer Höhe von 4 bis 6^0 herrscht; dieser lichte Streifen nimmt allmälig die Gestalt eines Bogens von blassgelber Farbe an, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden sich auf die Erde stützen.

„Dieser Bogen steigt allmälig in die Höhe, während sein Gipfel stets nahe in der Richtung des magnetischen Meridians bleibt.

„Bald erscheinen schwärzliche Streifen, welche den lichten Bogen trennen, und so bilden sich Strahlen, welche sich bald rasch, bald langsam verlängern oder verkürzen. Der untere Theil dieser Strahlen zeigt immer den lebhaftesten Glanz und bildet einen mehr oder weniger regelmässigen Bogen. Die Länge der Strahlen ist sehr verschieden, sie con-

vergiren aber nach einem Punkte des Himmels, welcher durch die Richtung des Südendes der Inclinationsnadel angedeutet ist. Manchmal verlängern sich die Strahlen bis zu diesem Punkte und bilden so ein Bruchstück eines ungeheuren Lichtgewölbes.

„Der Bogen fährt fort, gegen das Zenith hin zu steigen; in seinem Glanze zeigt sich eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst der Reihe nach von einem Fusse zum anderen; diese Art Lichtstrom zeigt sich oft mehrmals hintereinander, aber häufiger von Westen nach Osten als in entgegengesetzter Richtung. Manchmal, aber selten, folgt die rückgängige Bewegung unmittelbar auf die erste, und wenn der Glanz der Reihe nach alle Strahlen von Westen nach Osten durchlaufen hat, nimmt seine Bewegung eine entgegengesetzte Richtung an und kehrt zu seinem Ausgangspunkte zurück, ohne dass man eigentlich recht sagen kann, ob die Strahlen selbst eine horizontale Verrückung erleiden, oder ob sich der Glanz von Strahl zu Strahl fortpflanzt, ohne dass die Strahlen ihre Richtung verändern.

„Der Bogen zeigt auch in horizontaler Richtung eine Bewegung, welche den Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Bandes oder einer Fahne nicht unähnlich ist. Manchmal verlässt einer der Füsse oder selbst beide den Horizont; dann werden diese Biegungen zahlreicher und deutlicher; der Bogen erscheint nur als ein langes Strahlenband, welches sich entwickelt, sich in mehrere Theile trennt und graziöse Windungen bildet, welche sich fast selbst schliessen und das bilden, was man wohl die Krone genannt hat. Alsdann ändert sich plötzlich die Lichtintensität der Strahlen; sie übertrifft die der Sterne erster Grösse; die Strahlen schiessen mit Schnelligkeit, die Biegungen bilden und entwickeln sich wie die Windungen einer Schlange; nun färben sich die Strahlen, die Basis ist roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält ein blassgelbes Licht. Diese Farben behalten immer ihre gegenseitige Lage und haben eine bewundernswürdige Durchsichtigkeit. Das Roth nähert sich einem hellen Blutroth, das Grün einem blassen Smaragdgrün.

„Der Glanz nimmt ab, die Farben verschwinden, die ganze Erscheinung erlischt entweder plötzlich, oder sie wird nach und nach schwächer. Einzelne Stücke des Bogens erscheinen wieder, er bildet sich von Neuem, er setzt seine aufsteigende Bewegung fort und nähert sich dem Zenith; die Strahlen erscheinen durch die Perspective immer kürzer; alsdann erreicht der Gipfel des Bogens das magnetische Zenith, einen Punkt, nach welchem die Südspitze der Inclinationsnadel hinweist. Nun sieht man die Strahlen von ihrem Fusse aus. Wenn sie sich in diesem Augenblicke färben, so zeigen sie ein breites rothes Band, durch welches hindurch man die grüne Färbung der oberen Theile erblickt.

„Unterdessen bilden sich neue Bogen am Horizonte, welche entweder anfangs verschwommen erscheinen, oder durch lebhafte Strahlen gebildet sind. Sie folgen einander, indem alle fast dieselben Phasen

durchlaufen und in bestimmten Zwischenräumen von einander bleiben; man hat deren bis zu 9 gezählt, welche, auf die Erde gestützt, durch ihre

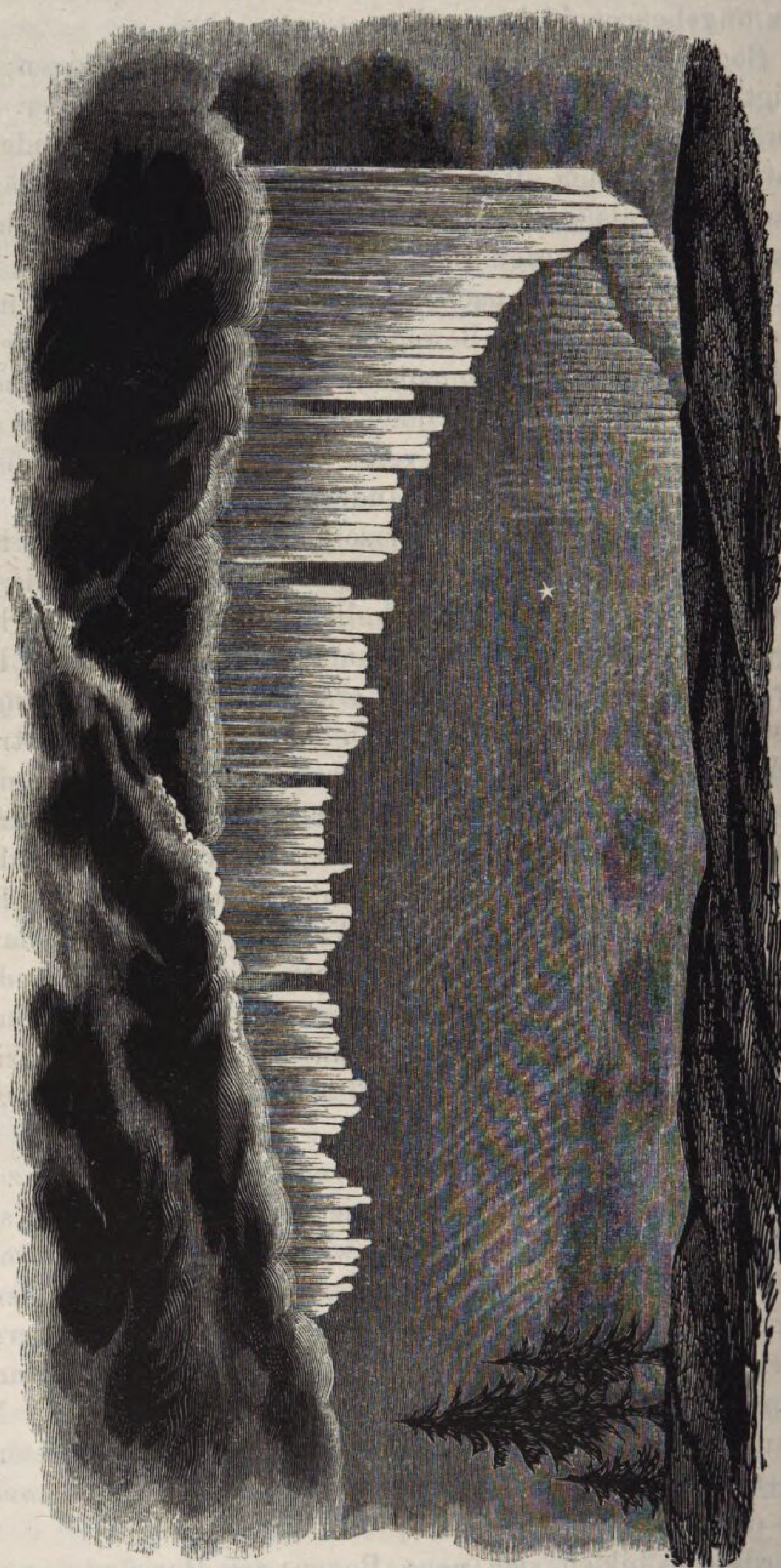


Fig. 382.

Anordnung an die oberen Coulissen unserer Theater erinnern, die, auf die Seitencoulissen gestützt, den Himmel der Theaterscene bilden. Manch-

mal werden die Zwischenräume kleiner, mehrere dieser Bogen drängen einander. — So oft die Strahlen am hohen Himmel das magnetische Zenith überschritten haben, scheinen sie von Süden her nach diesem Punkte zu convergiren und bilden alsdann mit den übrigen von Norden kommenden die eigentliche Krone. Die Erscheinung der Krone ist ohne Zweifel nur eine Wirkung der Perspective, und ein Beobachter, welcher in diesem Augenblicke weiter nach Süden hin sich befindet, wird sicherlich nur einen Bogen sehen können.

„Denkt man sich nun ein lebhaftes Schiessen von Strahlen, welche beständig sowohl in Beziehung auf ihre Länge, als auf ihren Glanz sich ändern, dass sie die herrlichsten rothen und grünen Farbentöne zeigen, dass eine wellenartige Bewegung stattfindet, dass Lichtströme einander folgen und endlich, dass das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure prächtige Lichtkuppel zu sein scheint, welche über einen mit Schnee be-

Fig. 383.



deckten Boden ausgebreitet ist und einen blendenden Rahmen für das ruhige Meer bildet, welches dunkel ist wie ein Asphaltsee, so hat man eine unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiele, auf dessen Beschreibung man verzichten muss.

„Die **Krone** dauert nur einige Minuten; sie bildet sich manchmal plötzlich, ohne dass man vorher einen Bogen wahrnahm. Selten sieht man zwei in einer Nacht, und viele Nordlichter zeigen keine Spur davon.

„Die Krone wird schwächer, das ganze Phänomen ist nun südlich vom Zenith, immer blassere Bogen bildend, welche in der Regel verschwinden, ehe sie den südlichen Horizont erreichen. Gewöhnlich beobachtet man dies Alles nur in der ersten Hälfte der Nacht; nachher scheint das Nordlicht seine Intensität verloren zu haben, die Strahlen scheinen verwaschen, sie bilden schwache, unbestimmt begränzte Lichtschimmer, welche endlich, kleinen Cumulus ähnlich, auf dem Himmel

gruppirt sind. — Allmälig erscheint die Morgenröthe, die Erscheinung wird immer schwächer und endlich ganz unsichtbar.

„Manchmal sieht man die Strahlen noch, wenn der Tag schon angebrochen, wenn es schon so hell ist, dass man lesen kann; dann aber verschwinden sie schnell, oder sie werden vielmehr um so unbestimmter, je mehr die Helligkeit zunimmt, sie nehmen eine weissliche Farbe an und vermischen sich so mit den Cirrostratus, dass man sie nicht mehr von diesen Wolken unterscheiden kann.“

Die Figuren 382 und 383 (a. v. S.) stellen zwei zu Bossekop beobachtete Nordlichter dar.

273 **Beziehungen des Nordlichtes zum Erdmagnetismus.** Das Nordlicht, welches Humboldt sehr bezeichnend ein magnetisches Gewitter nennt, steht, wie bereits bemerkt wurde, in mannigfacher Beziehung zum Erdmagnetismus. So haben wir bereits gesehen, dass der Gipfel des Nordlichtbogens im magnetischen Meridian liegt, und dass der Mittelpunkt der Nordlichtskrone derjenige Punkt des Himmelsgewölbes ist, nach welchem das Südende der Inclinationsnadel hinweist. Dazu kommt aber noch, dass während eines Nordlichtes die Declinationsnadel in ungewöhnlich starke Schwankungen geräth. Dieser Umstand wurde bereits im Jahre 1740 von Celsius und Hiorter entdeckt. Durch Vergleichung von Beobachtungen der Magnetnadel, welche gleichzeitig an sehr entfernten Orten, wie zu Upsala und zu London, gemacht worden waren, fand sich, dass dieselben Bewegungen der Magnetnadel sich an beiden Orten, und zwar um so stärker geäussert hatten, je lebhafter und je weiter verbreitet am Himmel das Nordlicht gewesen war.

Während des grossen Nordlichtes vom 7. Januar 1831 wuchsen die Schwankungen der Magnetnadel zu Paris bis auf $1^0\ 16{,}5'$.

Hansteen beschreibt den Einfluss der Nordlichter auf die Magnetnadel in folgender Weise: „Ist das Nordlicht lebhaft, so wird die Abweichungsnadel unruhig, sie weicht in Zeit von wenigen Minuten um 3, 4, ja um 5 Grad von ihrer gewöhnlichen Stellung ab und hat zuweilen eine sehr veränderliche Bewegung, zum Beweise, dass in dieser Zeit die Magnetkräfte der Erde in grosser Unruhe sind. Kurz vor dem Erscheinen des Nordlichtes kann die Intensität des Erdmagnetismus bis zu einer ungemeinen Höhe steigen; sobald aber das Nordlicht beginnt, nimmt die Intensität des Erdmagnetismus in demselben Verhältniss ab, in welchem das Nordlicht lebhafter wird, indem er seine frühere Stärke nur successiv, oft erst nach Verlauf von 24 Stunden wieder erhält. — Die Nordlichter scheinen demnach eine Lichtentwickelung zu sein, welche die Entladung des ungewöhnlich stark angehäuften Erdmagnetismus begleitet.“

Ein für die magnetische Wirkung der Nordlichter charakteristischer Umstand besteht darin, dass das Nordende der Declinationsnadel von seiner normalen Lage vorzugsweise nach Westen abgelenkt wird.

Nur vorübergehend wechselt diese westliche Ablenkung mit einer viel geringeren östlichen.

Eine ungewöhnliche Unruhe der Magnetnadel erstreckt sich aber nicht allein auf diejenigen Gegenden, in welchen das Nordlicht selbst sichtbar ist, sondern sie wird noch an Orten beobachtet, welche dem Schauplatze des Nordlichtes mehr oder weniger fern sind, so dass man aus bedeutenderen Störungen der Magnetnadel wohl stets auf ein, wenn auch nur in entfernteren Gegenden sichtbares Nordlicht schliessen kann. Arago hat diesem Umstand eine ganz besondere Aufmerksamkeit zugewendet. (F. Arago's sämmtliche Werke, 4. Bd.)

Am unzweifelhaftesten ergiebt sich die Beziehung des Nordlichtes zum Erdmagnetismus, wenn man sucht die wahre Lage der Nordlichtstrahlen zu ermitteln. Eine genauere Prüfung führt nämlich stets zu dem Resultat, dass diese Strahlen mit der Richtung der Neigungsnadel zusammenfallen, d. h. dass die wahre Richtung der Strahlen dieselbe ist, wie diejenige, welche eine an ihre Stelle gebrachte nach allen Seiten hin frei bewegliche Neigungsnadel annehmen würde. Die verschiedenen Formen, unter welchen das Nordlicht erscheint, erklären sich, nachdem einmal diese Thatsache festgestellt ist, als eine Wirkung der Perspective, welche sich ändert, je nachdem der Beobachter verschiedene Stellungen gegen die Strahlengruppen einnimmt.

Höhe, Ausdehnung, geographische Verbreitung und Periodicität der Nordlichter. 274 Die älteren Naturforscher waren der Ansicht, dass der Sitz der Nordlichter noch über den Gränzen der Atmosphäre zu suchen sei. Diese Ansicht war jedenfalls eine irrige. Wenn das Nordlicht sich ausserhalb unserer Atmosphäre befände, so könnte es an der täglichen Umdrehung der Erde keinen Antheil nehmen, es müsste also die scheinbare tägliche Bewegung des Fixsternhimmels theilen, was entschieden nicht der Fall ist; im Gegentheil verhält sich das Nordlicht gegen das Himmelsgewölbe durchaus wie ein irdischer Gegenstand; es ist also keinem Zweifel unterworfen, dass sich das Nordlicht innerhalb unserer Atmosphäre bildet.

Aber welches ist seine Höhe über der Erdoberfläche? Um diese Frage zu beantworten, verglich man die scheinbare Höhe, in welcher der Gipfelpunkt des Lichtbogens eines und desselben Nordlichts von verschiedenen Beobachtern gesehen wurde, welche sich an mehr oder weniger weit von einander entfernten, wo möglich auf demselben magnetischen Meridian liegenden Orten befanden. Dergleichen Bestimmungen führten nun zu sehr verschiedenen Resultaten, was sehr begreiflich ist, wenn man bedenkt, dass es sehr zweifelhaft ist, ob die verschiedenen Beobachter eines und desselben Nordlichtbogens bei ihren Messungen wirklich denselben Punkt einvisirt und gleichzeitig gemessen haben. Daher kommt es auch, dass sich sogar für ein und dasselbe an sehr vielen Orten be-

obachtete Nordlicht sehr verschiedene Höhen ergeben, je nachdem man diese oder jene Beobachtungen mit einander combinirt.

So findet z. B. Hansteen für das Nordlicht vom 7. Januar 1831 die Höhe von 26 geographischen Meilen, indem er die Messungen der scheinbaren Höhe des Bogens von Berlin und Christiansand in Norwegen combinirt, während Christie aus verschiedenen in England angestellten Beobachtungen desselben Nordlichtes eine Höhe von 5 bis 25 englischen Meilen berechnet.

Die Bestimmungen neuerer Physiker weisen den Nordlichtern eine weit geringere Höhe an, als man früher annahm. Nach Mairan sollte die mittlere Höhe der Nordlichter 120, nach Cavendish (1790) soll sie 60, und nach Dalton (1828) nur 18 geographische Meilen betragen.

Farqhuarson endlich macht es wahrscheinlich, dass die Nordlichter, wie dies auch schon früher z. B. von Wrangel ausgesprochen worden ist, bis in die Region der Wolken heruntergehen; er stützt sich dabei unter Anderem auf eine Nordlichtsbeobachtung vom 20. December 1829. Er sah nämlich von $8^1/_2$ bis 11 Uhr Nachts zu Alford in Aberdeenshire ein sehr glänzendes Nordlicht über einer dichten Wolkenmasse, welche die Spitzen der nördlich von seiner Wohnung liegenden Correnhügel bedeckte. Obgleich der übrige Theil des Himmels heiter war, so stieg das Nordlicht doch nie höher als 20°. Gleichzeitig sah der Prediger Paull zu Tullynessle, welches zwei englische Meilen nördlich von Alford in einem engen Seitenthale der erwähnten Hügelreihe liegt, um $9^1/_4$ Uhr Abends das Nordlicht sehr hell in der Nähe des Zeniths. Demnach würde die Höhe dieses Nordlichts höchstens 4000 Fuss betragen haben.

Diese Ansicht wird nun auch durch vielfache in neuerer Zeit in den Polargegenden gemachte Beobachtungen unterstützt, und namentlich auch von Parry, Franklin, Hood und Richardson vertreten. Franklin beobachtete Nordlichter, welche zwischen einer Wolkenschicht und der Erde befindlich waren und welche die untere Fläche dichter Wolken erleuchteten.

So viel ist gewiss, dass sich das Phänomen des Nordlichtes in sehr verschiedenen Höhen bildet, dass sie aber schwerlich je über eine Höhe von 20 Meilen hinausgehen.

Die in geringen Höhen sich bildenden Nordlichter, wie sie in den Polarregionen öfters vorkommen, sind auch nur in geringen Entfernungen sichtbar. So führt Hood ein Nordlicht an, welches er am 2. April 1820 in Cumberland-House (im britischen Nordamerika, auf den Isothermenkarten verzeichnet) als einen glänzenden Bogen in 10° Höhe beobachtete, und von welchem man 55 englische Meilen südwestlich nichts wahrnahm; und ein anderes Nordlicht, welches am 6. April mehrere Stunden im Zenith von Cumberland-House stand, erschien 100 englische Meilen südwestlich nur noch als ein ruhiger ungefähr 9° hoher Bogen.

Ein Umstand, welcher gleichfalls dafür sprechen dürfte, dass sich die Nordlichter häufig wenigstens in sehr geringen Höhen bilden, ist das

Geräusch, welches manchmal ihre Erscheinung begleiten soll. Dieses Geräusch wird von Einigen mit demjenigen verglichen, welches entsteht, wenn ein Stück Seidenzeug über einander gerollt wird, von Anderen, wie Parrot, mit dem Geräusch der stark vom Winde getriebenen Flamme einer Feuersbrunst. In Sibirien soll, wie Gmelin erzählt wurde, das Nordlicht oft mit so heftigem Zischen, Platzen und Rollen verbunden sein, dass man ein Feuerwerk zu hören glaubt, und dass sich die Hunde der Jäger, von solchen Nordlichtern überfallen, vor Angst auf den Boden legten.

Von anderer Seite wird aber die Existenz eines solchen Geräusches vielfach bezweifelt. Mehrere Beobachter, welche häufig in Schweden und Norwegen Gelegenheit hatten, das Phänomen des Nordlichts zu beobachten, versichern, nie das geringste Geräusch gehört zu haben. So sagt Wrangel von seinem Aufenthalt an den Küsten des sibirischen Eismeers: Wir hörten beim Erscheinen der Säulen kein Krachen, überhaupt kein Geräusch. Nur wenn ein Nordlicht eine grosse Intensität hatte, wenn die Strahlen sich oft nach einander bildeten, däuchte es uns, als hörte man Etwas, wie ein schwaches Blasen des Windes in die Flamme. Parry, welcher bei seinem mehrmaligen Aufenthalte in den Polargegenden sehr oft die Erscheinung des Nordlichtes beobachtete, und Franklin, welcher am Bärensee deren 343 sah, versichern, nie ein Geräusch gehört zu haben, und sind der Meinung, dass das, was man für ein Geräusch des Nordlichtes hielt, wohl nichts als das Rauschen des Windes selbst oder das Krachen des in den hellen kalten Nordlichtnächten berstenden Eises gewesen sei.

Bei uns werden nur solche Nordlichter sichtbar, welche sich zu grösserer Höhe erheben.

Während die Sichtbarkeit der meisten in den Polargegenden sich bildenden Nordlichter nur auf einen geringen Umkreis beschränkt bleibt, gewinnt manchmal das Phänomen des Nordlichtes eine überraschende Ausdehnung. So war z. B. das schöne Nordlicht vom 7. Januar 1831 im ganzen nördlichen und mittleren Europa, sowie auch am Eriesee in Nordamerika sichtbar. In solchen Fällen ist es klar, dass man an weit entfernten Orten nicht dieselben leuchtenden Strahlen sah, dass man also in dem eben angeführten Falle am Eriesee eine andere Partie des Phänomens wahrnahm als in Europa. Wahrscheinlich hatte sich damals ein ungeheurer Strahlenkamm gebildet, welcher, ungefähr der Richtung eines magnetischen Parallels folgend, mit oder ohne Unterbrechung vom Eriesee über den atlantischen Ocean bis nach Norwegen und Schweden hinzog.

In den südlichen Polarregionen bildet sich ein ähnliches Lichtphänomen wie das, welches wir bisher besprochen haben, und welches man mit dem Namen des Südlichtes bezeichnet hat. Solche Südlichter sind von verschiedenen Seefahrern und namentlich von Cook gesehen und beschrieben worden.

Man hat die Nord- und die Südlichter mit dem gemeinsamen Namen der Polarlichter bezeichnet.

Eine sehr merkwürdige Thatsache ist es, dass sehr oft Nord- und Südlichter zu gleicher Zeit erscheinen. So wurden z. B. im Jahre 1783 zu Rio Janeiro Südlichter gesehen, während gleichzeitig auf der nördlichen Hemisphäre Nordlichter beobachtet wurden. Dasselbe gilt für viele der Südlichter, von welchen Cook berichtet. Er sah Südlichter am 18., 21. und 25. Februar und am 16. März 1773, während van Swinden von Nordlichtern berichtet, welche er an denselben Tagen zu Franecker in Friesland gesehen hat. Ebenso ist das gleichzeitige Erscheinen von Nordlichtern zu Christiania und von Südlichtern zu Hobartown auf Van Diemens Land constatirt.

Fritz und R. Wolf haben nachgewiesen, dass die Häufigkeit der Nordlichterscheinungen derjenigen der Sonnenflecken parallel laufe, so dass die Nordlichter am häufigsten erscheinen, wenn die Sonne die zahlreichsten Sonnenflecken zeigt, wie denn auch gegenwärtig bei zahlreichen Sonnenflecken ungewöhnlich viel Nordlichter beobachtet werden.

275 **Das Spectrum des Nordlichts.** Nachdem man die Lichterscheinungen beobachtet hatte, welche in den verdünnten Gasen der Geissler'schen Röhren auftreten, wenn man elektrische Entladungen durch sie hindurchsendet, lag die Idee nahe, dass auch das Licht der aurora borealis von einer in der verdünnten Luft der höheren Regionen der Atmosphäre sich vollziehenden elektrischen Ausströmung herrühre. Diese Vermuthung ist jedoch durch die Spectralanalyse des Nordlichts noch keineswegs entschieden bestätigt worden.

Nach Angström's Beobachtungen besteht das Spectrum des leuchtenden Bogens, welchen das dunkle Segment umsäumt, aus einer einzigen hellen Linie zwischen D und E, deren Lage in Figur 218 auf Seite 379 durch eine punktirte Linie angedeutet ist. Ausser dieser verhältnissmässig hellen Linie beobachtete er bei erweitertem Spalt nur noch drei ganz schwache Streifen gegen F hin. Fig. 8 auf Tab. 10 stellt das von Zöllner mit einem Browning'schen Miniaturspectroskop beobachtete Spectrum des prachtvollen Nordlichts vom 25. October 1870 dar. Ausser der Angström'schen Nordlichtlinie, welche für alle Stellen des Nordlichtes mit hervorragender Helligkeit glänzte, zeigte sich die rothe Linie nur an solchen Stellen des Himmels, welche auch dem unbewaffneten Auge stark geröthet erscheinen. Im blauen Theile des Spectrums traten nur zuweilen bandartige Streifen auf. Im Wesentlichen stimmen hiermit auch die Resultate anderer Beobachter überein.

Zöllner hat dargethan, dass das Spectrum des Nordlichts nicht mit dem Spectrum irgend eines verdünnten Gases in den Geissler'schen Röhren übereinstimmt, dass sich die hellen Nordlichtlinien in keinem jener Gasspectra wiederfinden, wie dies auch Angström bereits für die

hellste der Nordlichtlinien gefunden hatte. Daraus folgert dann Zöllner, dass wenn die Lichtentwickelung beim Nordlicht überhaupt elektrischer Natur ist, wie die Lichtentwickelung der verdünnten Gase in Geissler'schen Röhren, dieselbe einer so niedrigen Temperatur angehören müsse, wie man sie beim Experimentiren mit Geissler'schen Röhren nicht wohl herstellen könne.

De la Rive's Theorie des Nordlichts. In dem 14. Bande der Archives des sciences physiques et naturelles (1862) entwickelt De la Rive seine Theorie der Polarlichter ungefähr in folgender Weise: 276

Durch directe Beobachtungen ist dargethan, dass das Meerwasser beständig mit positiver Elektricität geladen ist; die von ihm aufsteigenden Dämpfe tragen diese Elektricität in die höheren Regionen der Atmosphäre, welche alsdann durch den rückkehrenden Passat den Polen zugeführt, eine positive Hülle für die Erde bildet, welche selbst mit negativer Elektricität geladen bleibt. Da nun aber die Erde sowohl wie die sehr verdünnte Luft der höheren Regionen gute Leiter sind, so kann man sie den beiden Platten eines Condensators vergleichen, dessen isolirende Schicht durch die unteren Lagen der Atmosphäre gebildet wird. Durch ihren gegenseitigen Einfluss werden sich nun die entgegengesetzten Elektricitäten vorzugsweise da verdichten, wo die positive Luftschicht und die negative Erde einander am nächsten sind, also in der Nähe der Pole. Sobald die entgegengesetzten Elektricitäten hier eine gewisse Spannung erreicht haben, welche nicht überschritten werden kann, muss eine Ausgleichung in Form mehr oder minder häufiger Entladungen erfolgen. Diese Entladungen müssen nahezu gleichzeitig an beiden Polen stattfinden. Es ist einleuchtend, dass die Neutralisation der entgegengesetzten Elektricitäten nicht auf einmal, sondern in Anbetracht der schlechten Leitungsfähigkeit des Mittels, durch welches hindurch sie stattfindet, nur in successiver mehr oder weniger continuirlichen Entladungen von veränderlicher Intensität stattfinden kann.

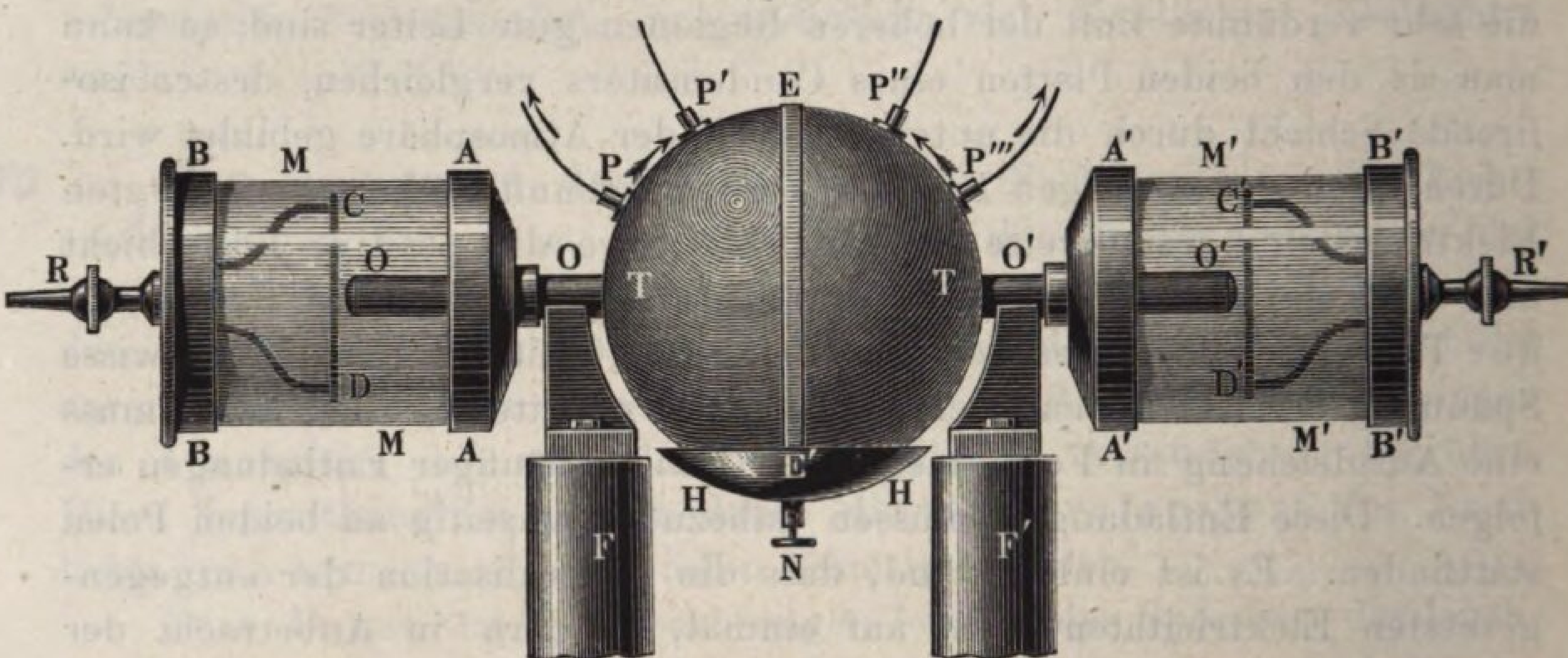
Während nun in der Nähe der Pole eine solche elektrische Entladung stattfindet, muss auf der Erde die negative Elektricität vom Aequator nach den Polen, die positive von den Polen nach dem Aequator strömen; unter dem Einflusse eines solchen Stromes aber muss das Nordende der Declinationsnadel auf der nördlichen Hemisphäre nach Westen abgelenkt werden, wie dies nach §. 274 auch in der That der Fall ist, die Grösse der Ablenkung wird aber eine sehr veränderliche sein, weil die Stärke der elektrischen Entladung und also auch die Stärke des fraglichen Erdstromes fortwährenden Schwankungen unterliegt.

Dieser Strom lässt sich aber auch in Telegraphendrähten nachweisen, wenn man zwischen zwei Stationen, von denen die eine nördlich von der anderen liegt, in passender Weise einen Multiplicator einschaltet. Die Nadel dieses Multiplicators wird in Schwankungen gerathen, sobald ein Nordlicht erscheint, und zwar wird sie vorzugsweise so ab-

gelenkt, dass sie einen positiven vom Pol zum Aequator gehenden Strom anzeigt. Die Grösse dieser Ablenkung ist aber eine stets wechselnde, und manchmal geht sie, wenn auch nur vorübergehend, in eine entgegengesetzte, einen vom Aequator zum Pol gerichteten Strom anzeigende über. — Die Ablenkung der Multiplicatornadel ist aber keineswegs ein richtiges Maass für den fraglichen Erdstrom, weil dessen Stärke durch die Polarisation der Erdplatten modificirt wird. Hört z. B. der Strom, nachdem er eine Zeitlang vom Pol zum Aequator gerichtet war, für kurze Zeit ganz auf, so erfolgt nun eine Entladung der galvanischen Polarisation der Erdplatten, welche einen dem vorigen entgegengesetzten Strom durch den Multiplicator hindurchsendet, ohne dass ein positiver Erdstrom vom Aequator zum Pole geht.

Uebrigens treten solche vom Aequator zum Pol gerichtete Ströme während der Nordlichterscheinung wirklich auf, wie uns die Ablenkung der Declinationsnadel zeigt. Es lässt sich dies aber leicht erklären. Die

Fig. 384.



gleichzeitigen Entladungen an den beiden Erdpolen, welche die Erscheinung der Nord- und Südlichter hervorbringen, sind alternirend bald am einen, bald am anderen Pole stärker und können vorübergehend an dem einen Pole ganz aufhören, während sie am anderen fortdauern. In solchen Momenten muss dann zu dem Pole, an welchem gerade eine kräftige Ausstrahlung stattfindet, die negative Elektricität nicht allein vom Aequator, sondern selbst vom anderen Pol her zuströmen, auf der Hemisphäre des eben pausirenden Pols geht also in solchen Momenten der positive Strom vom Aequator zum Pole hin.

Um die Erscheinung der Polarlichter und alle dieselben begleitenden Phänomene künstlich nachzubilden, hat De la Rive einen Apparat construirt, welchen Fig. 384 in $^1/_{12}$ bis $^1/_{14}$ der natürlichen Grösse darstellt. T ist eine Kugel von Holz, welche die Erde darstellt. Diametral gegenüber stehend sind in diese Holzkugel die Eisenstäbe $O\,O$ und $O'\,O'$ eingesetzt, deren jeder 3 bis 4 Centimeter Durchmesser und eine Länge von 8 bis 10 Centimetern hat. Diese Eisenstäbe ruhen auf eisernen

Stützen, welche auf die Pole F und F' eines kräftigen Elektromagnets aufgeschraubt sind. Wird der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt, so bilden O und O' die magnetischen Pole der Kugel T.

Die Eisenstäbe OO und $O'O'$ sind bis auf ihre Endfläche von einer isolirenden Schicht eingehüllt; der eine ist von dem Glascylinder MM, der andere ist von dem Glascylinder $M'M'$ umgeben, deren jeder durch zwei Metallplatten hermetisch verschlossen ist. Durch die nach Innen gekehrte Deckplatte (AA und $A'A'$) tritt der Eisenstab in die Höhlung des Glascylinders ein, während die äussere Deckplatte (BB und $B'B'$) mittelst zweier metallischer, aber mit wohl isolirendem Firniss überzogener Arme einen Drahtring (CD und $C'D'$) von rein metallischer Oberfläche trägt, welcher das freie Ende des entsprechenden Eisenstabes concentrisch umgiebt. Jede der äusseren Deckplatten trägt nach Aussen hin eine Röhre mit einem Hahn (R und R'), mittelst deren man die Glascylinder evacuiren und mit beliebigen Gasen füllen kann.

Um mit dem Apparat zu experimentiren, werden zwei Bänder von starkem Löschpapier um die Kugel herumgelegt, das eine, EE', den Aequator der Kugel bildend, während das andere von E' ausgehend zu dem Eisenstab auf der rechten Seite der Kugel geführt wird, von da über E zum Eisenstab auf der linken Seite der Kugel und von da endlich nach E' zurück, so dass das letztere Band einen durch die beiden Pole gehenden Meridian darstellt. Auf diesem Meridianstreifen sind zu beiden Seiten des Aequators kleine Messingsäulchen P und P' aufgesetzt, deren Basis 1 bis 2 Quadratcentimeter beträgt und welche mittelst einer kleinen Schraube in die Holzkugel eingelassen sind; in diese Säulchen werden die Zuleitungsdrähte eingesetzt, welche zu einem 10 bis 12 Meter entfernten Multiplicator führen. Die Streifen von Löschpapier werden mit Salzwasser befeuchtet, und um sie feucht zu erhalten ist an dem unteren Ende der Kugel mittelst eines in das Holz eingeschraubten Messingsäulchens N eine Messingschale befestigt, in welche etwas Salzwasser eingegossen wird.

Dieses Messingsäulchen N wird nun mit dem negativen Pol eines Ruhmkorff'schen Apparates verbunden, während der positive Pol desselben mittelst eines in zwei Arme sich theilenden Leitungsdrahtes mit den äusseren Deckplatten BB und $B'B'$ in Verbindung gesetzt wird. Sobald der Ruhmkorff'sche Apparat in Thätigkeit gesetzt wird, erscheint bei gehöriger Evacuirung der Glascylinder ein Lichtbüschel, welcher von dem Metallring (CD oder $C'D'$) zum Rande des Eisenkernes übergeht, und zwar abwechselnd in dem einen und dann wieder in dem anderen Glascylinder, selten in beiden zugleich.

Wird nun auch der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt, so breitet sich der Lichtstreif aus und nimmt eine rotirende Bewegung an, deren Richtung von der Polarität des Eisenkernes abhängt. Man hat hier eine treue Nachbildung der Nordlichterscheinung, wenn der Nordlichtbogen Lichtstrahlen in die höheren Regionen der Atmosphäre schiesst.

Die ganze Erscheinung ändert ihren Charakter, sobald man den Strom des Ruhmkorff'schen Apparates umkehrt, also den positiven Strom vom Eisenkerne zum Metallring gehen lässt.

Schaltet man nun, während der positive Strom vom Ring zum Eisenkerne geht, zwischen zwei Metallsäulchen P und P' derselben Hemisphäre mittelst entsprechender Leitungsdrähte einen 10 bis 12 Meter entfernten Multiplicator als Nebenschliessung ein, so erfolgt eine Ablenkung der Nadel von 70 bis 80°, welche einen in der Richtung der kleineren Pfeile circulirenden Strom andeutet, wenn die Entladung gerade an dem Pole der gleichen Hemisphäre (in unserem Fall also zwischen CD und OO) stattfindet, während eine weit kleinere, nur 25 bis 30 Grad betragende entgegengesetzt gerichtete Ablenkung der Multiplicatornadel in solchen Momenten auftritt, in welchen die Entladung am anderen Pole (in unserem Falle also zwischen $C'D'$ und $O'O'$) erfolgt.

Also auch in dieser Beziehung liefert der Apparat eine treue Nachbildung der Erscheinungen, welche das Nordlicht begleiten.

Eine Schwierigkeit, welche der De la Rive'schen Theorie des Nordlichts entgegentritt, kann jedoch nicht unerwähnt bleiben. Nach De la Rive ist das Meer überall positiv elektrisch; da nun aber die Erdpole, namentlich aber der Südpol der Erde ringsum vom Meere umgeben ist, so ist nicht einzusehen, wie die negative Elektricität überall ungehindert den Polarregionen zuströmen kann. Da jedoch die fragliche Theorie sonst so viel Wahrscheinlichkeit hat, so lässt sich hoffen, dass es bald gelingen wird, auch diese Schwierigkeit zu heben.

Fig. 385.



ALPHABETISCHES INHALTSVERZEICHNISS.

A.

	Seite
Abendroth	375
Abendstern	148
Aberration des Lichtes	351
Abplattung der Erde	60
— des Jupiter	154
Absidenlinie	101, 115
Absorption des Lichtes durch die Atmosphäre	359
Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre	520
Absorptionsspectrum der Atmosphäre	378
Abweichung, astronomische	29
— magnetische	722
Actinometer	527
Aequator der Himmelskugel	7
— der Erde	55
— magnetischer	745
Aequatorealinstrument	39
— transportabeles	41
Aequatorealkreis	39
Aequinoctium	108
Aequinoctialpunkte	79
— Rückgang derselben	97
Aequinoctialcolur	80
Aëroklinoskop	628
Aërolithe	223
Alhidade	23
Allgemeine Schwere	249
Apex	240
Aphelium	116
Apogäum	101
Aspirator	631
Atmometer	663
Atmosphäre der Sonne	301
— des Mondes	194
Atmosphäre der Erde	569
— Zusammensetzung derselben	569
— Höhe derselben	586
Atmosphärische Elektricität	685
— Linien	378
— Refraction	354
Aufsteigung, gerade	30
Aufsteigender Knoten	123
Aurora borealis	763
Axendrehung der Erde	65
— der Sonne	295
— des Mondes	187
— des Jupiter	155
Azimut	17

B.

	Seite
Barometer, registrirendes	57
Barometrische Höhenmessung	582
Barometerschwankungen	570
— jährliche	577
— tägliche	572
— unregelmässige	580
Bewegung, tägliche, der Gestirne	7
— scheinbare, der Planeten	121
Blau des Himmels	373
Blendglas	295
Blitz	711
— Spectrum desselben	711
— Wirkungen desselben	715
Blitzableiter, Construction derselben	700
— Prüfung derselben	704
— für Telegraphen	707
Blitzröhren	716
Blitzschläge, merkwürdige	717
Bodentemperatur	530
Breite, astronomische	80

Seite
Breite, geographische 54
— — Bestimmung derselben . . 56
Breitenkreise auf der Erdkugel . 55
Brockengespenst 411

C.

Calmen 602
Cardani'sche Aufhängung . . . 72
Centralbewegung 250
Centralsonne 292
Ceres 160
Chamsin 610
Chromosphäre 306
Circumpolarsterne 8
Cirrus 653
Colorimeter 325
Coluren 80
Conjunction 422
— obere und untere 122
Constante, magnetische 722
Continentalklima 469
Copernikanisches Weltsystem . . 131
Corona 301
Culmination 8
— obere und untere 9
Cumulus 653
Curven, magnetische 737
Cyanometer 373

D.

Dämmerung 387
Dämmerungsbogen 388
Daniell's Hygrometer 635
Declination, astronomische . . . 28
— einiger Sterne 31
— magnetische 723
Declinationskarten 737
Declinationskreis an der Himmelskugel 28
— am Aequatoreal-Instrument . 39
Deferent 130
Depression des Horizonts 49
Dichtigkeit, mittlere, der Erde 259, 266
— der Sonne, verglichen mit der Erde 259
— — verglichen mit Wasser . . 266
— der Planeten, verglichen mit der Erde 259
— — verglichen mit Wasser . . 266
Diaphanometer 358
Donati's Komet 208
Doppelsterne 289

Seite
Donner 714
Drache, elektrischer 684
Drehwage, Anwendung derselben zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde . . 261
Durchgänge des Mercur 147
— der Venus 149
Durchmesser der Erde 62
— scheinbarer der Sonne . . . 101
— — der Planeten 127
— — des Mondes 169
— wahrer, der Sonne 119
— — des Mondes 174
— — des Jupiter 154
— — der kleinen Planeten . . . 162
— — des Mars 154
— — des Mercur 147
— — des Saturn 157
— — des Uranus 160
— — der Venus 152
Durchsichtigkeits-Coëfficient . . 360
Durchsichtigkeit der Luft . . . 358
— des Wassers 369

E.

Ebbe 274
Ebbe und Fluth, atmosphärische 597
Eisbildung durch nächtliche Strahlung 528
Eisberge, schwimmende 565
Eisenmeteorite 226
Eisfelder 563
Eismeer 563
Eiszeit 518, 612
Ekliptik 77
Elektricität, atmosphärische . . 686
— der Gewitterwolken 698
Elliptische Bahnen der Planeten 145
Elongation 122
Entfernung der Sonne von der Erde 116
— der Fixsterne 288
— des Mondes von der Erde . . 172
— mittlere, der Planeten von der Sonne 140
Epicyklen 129
Epoche 142
Erde, Kugelgestalt derselben . . 55
— Abplattung derselben 60
— Atmosphäre derselben 569
— Axendrehung derselben . . . 65
— Dichtigkeit derselben 259
— Dimensionen derselben . . . 62
— Masse derselben 266

Seite
Erdäquator 55
Erdbahn, wahre Gestalt derselben 114
— Excentricität derselben . . . 115
Erdbeben 539
Erdferne 101
Erdmagnetismus 722
Erdnähe 101
Erdoberfläche, Krümmung derselben 46
Erdschein 169
Erdwärme, innere 535
Erleuchtungskreis 48
Erratische Blöcke 518
Eruptionen, vulkanische 537
— des Geysirs 546
— des Strokkrs 547
Evaporometer 663
Excentricität der Erdbahn . . . 115
— der Mondbahn 169
— der Planetenbahnen 145

F.

Fadenkreuz 23
Farbe des Himmels 373
— des Wassers 370
Fata morgana 396
Federwolken 653
Ferner 501
Fernrohr, parallaktisch aufgestelltes 10, 40
Feuchtigkeit der Luft 631
— relative 643
Feuchtigkeitsgrade 632
Feuerkugeln 228
Finsternisse des Mondes 176
— der Sonne 183
Firn 501
Fixsterne 6
— eigene Bewegung derselben . 284
— Entfernung derselben 288
— farbige 325
— jährliche Parallaxe derselben . 285
— photometrische Vergleichung derselben 314
— temporäre 324
— veränderliche 322
Fliehpunkt 240
Fluth 227
Fluthwellen 278
Föhn 611
Fraunhofer'sche Linien 299
Foucault's Pendel 69
Frontmoränen 513

Seite
Frühling 425
Frühlingspunkt 79
— Bestimmung desselben . . . 95
Frühlingsäquinoctium 79
Funkeln der Sterne 357

G.

Gebirge des Mondes 191
Geräusch des Nordlichts 777
Geschwindigkeit der Planeten in ihrer Bahn 144
— des Lichtes 348
Gesichtskreis 47
Gewitter 688
— magnetisches 774
Gewitterwolken, Charakter derselben 710
— Elektricität derselben 688
— Höhe derselben 710
Geysir 545
— Eruptionen desselben 546
— Nachahmung derselben . . . 550
Geysire Neuseelands 552
Gletscher 500
Gletscherschliffe 518
Gletschertische 516
Golfstrom 471
Gnomon 20
Gradmessungen 62
Graupeln 671
Gregorianischer Kalender 97
Grundeis 560
Gufferlinie 514

H.

Haarhygrometer 632
Hafenetablissement 275
Hafenzeit 275
Hagel 671
Halley's Komet 220
Harmattan 610
Haufenwolke 653
Heliometer, Pouillet's 520
— Fraunhofer's 102
Hemisphäre, nördliche und südliche 7
Herbstäquinoctium 79
Herbstpunkt 79
Himmel, Farbe desselben 373
Himmelsgewölbe 5
Himmelsglobus 9
Himmelsäquator 7

Seite

Hochebenen, Temperaturverhältnisse derselben 495
Höfe 405
Höhe, eines Gestirns 17
Höhenkreis 18
Höhenmessung, barometrische . 582
Horizont 5
Horizont, wahrer 55
— scheinbarer 55
Horizontlinie 47
Horizontalparallaxe 117
Hurricans 618
Hyaden 15
Hydrometeore 631
Hyetographische Karten 662
Hyetometer 655
Hygrometer, Saussure's 632
— Daniell's 635
— Döbereiner's 638
— Regnault's 638

I.

Inclination, magnetische 728
Intensität, magnetische 731
Isametralen 497
Isanomalen, thermische 467
Isobaren 623
Isobarometrische Linien 581
Isochimenen 454
Isodynamische Linien 746
Isogeothermen 534
Isogonische Linien 737
Isohyeten 662
Isohypsen 492
Isoklinische Linien 743
Isorachien 278
Isotheren 454
Isothermen 453
— in Gebirgsgegenden 492

J.

Jahr, bürgerliches 96
— tropisches 96
Jahresmittel, allgemeines 444
Jahreszeiten 424, 455
Jahresisothermen 453
Julianischer Kalender 97
Juno 160
Jupiter 154
— Axendrehung desselben . . . 154

Seite

K.

Kalender 96
Kältepole 453
Kepler'sche Gesetze 144
Kern der Kometen 203
Kimmung 394
Klima 420
— Abhängigkeit desselben von der geographischen Breite . 422
Knoten der Planetenbahnen 123, 142
— der Mondesbahn 165
Knotenlinie 135
Kometen 203
— Ausströmungen derselben . . 210
— Kern derselben 203
— Schweif derselben 203
— wiederkehrende 220
Kometenbahnen, scheinbare . . 208
— wahre 214
Krater 537
Küstenklima 469

L.

Landklima 468
Landwind 600
Laurentiusthränen 240
Länge, astronomische 80
— des aufsteigenden Knotens . 142
— des Perihels der Planetenbahnen 145
— geographische 54
— — Bestimmung derselben . . 57
Längenkreise auf der Erde . . . 55
Leitstrahl 115
Leoniden 242
Libration des Mondes 189
Licht, Geschwindigkeit desselben 348
— Aberration desselben 352
Lichtkränze 405
Lichtringe 414
Litli Geysir 548
Limbus 23
Luft 569
— Bestandtheile derselben . . . 569
— Durchsichtigkeit derselben . 358
Luftelektricität 686
— Quelle derselben 696
— Variationen derselben 693
Lufthülle der Erde 569
Luftperspective 358
Luftspiegelung 390
Lunation 167

Seite

M.

Magnetische Abweichung 722
— Constanten 734
— Declination 722
— Gewitter 774
— Inclination 728
— Intensität 731
— Karten 737
— Meridiane 743
— Störungen 758
— Variationen 755
Magnetischer Aequator 745
Magnetisches Potential 751
— Theodolit 725
Maifröste 530
Mars 153
Masse der Erde 266
— der Planeten 259
— der Sonne 259
Maximum-Thermometer 431
Mercur 146
Meridian, astronomischer 7
— — Bestimmung desselben . . 19
— magnetischer 743
Meridiankreis 34
Meridianzeichen 26
Metallthermometer 433
Meteoreisen 226
Meteorite 223
— kosmische Geschwindigkeit derselben 232
— chemische Zusammensetzung derselben 226
— Ursprung derselben 333
— Beschaffenheit derselben . . . 226
— Bahnen derselben 234
Meteorsteine 223
Meter 61
Meteorologie 420
Milchstrasse 328
Minimum-Thermometer 431
Missweisung 722
Mittagskreis 33
Mittagslinie 7
Mittagsrohr 33
Mittelmoränen 514
Monatsisothermen 453
Monatsmittel 444
Mond 165
— Axendrehung desselben . . . 187
— Entfernung desselben 174
— Gebirge desselben 191
— Grösse desselben 174
Mond, Libration desselben . . . 189
— Oberfläche desselben 191
— Parallaxe desselben 172
— Phasen desselben 166
— scheinbare Bahn desselben . 165
— sein Einfluss auf die Witterung 598
— siderische Umlaufszeit desselben 166
— synodische Umlaufszeit desselben 166
Mondfinsternisse 176
Mondhöfe 405
Mondkarten 194
Mondphotographie 195
Mondringe 405
Mondsbahn, scheinbare 164
— Neigung derselben 169
— Excentricität derselben . . . 169
— Knoten derselben 169
— Störungen derselben 272
Monsune 604
Moränen 512
Morgenroth 375
Morgenstern 148
Moussons 604

N.

Nachtbogen 9
Nadir 6
Nebel 651
— planetarische 329
Nebelbilder 411
Nebelflecken 328
Nebelsterne 330
Nebensonnen 414
Neigung der Mondsbahn 169
— der Planetenbahnen 140
Neptun 163
— Entdeckung desselben 270
Neumond 166
Nimbus 653
Nordlicht 763
— Periodicität desselben 778
— Theorie desselben 779
Nordlichtkrone 773
Nordpol der Erde 55
— des Himmels 7
Nordpunkt 7
Nördliche Hemisphäre 7
Normalstationen 445
Novemberschwarm 240
Nutation 99

Seite

O.

Obere Conjunction 122
— Culmination 9
Occultationen 172
Ombrometer 655
Opposition 122
Orkane 615
Osten 7
Ostpunkt 7

P.

Pallas 160
Parallaxe 116
— der Fixsterne 285
— des Mondes 172
— der Sonne 118
Parallaktische Aufstellung . . . 10
Parallaktisches Statif 44
Parallelkreise 29
— der Erde 55
Passage-Instrument 34
Passatwinde 601
Pendel, Beweis der Abplattung der Erde durch dasselbe . . 67
— Länge des Secundenpendels in verschiedenen Breiten . . . 68
Pendelversuch, Foucault's . . . 69
Penumbra 297
Perigäum 101
Perihel 116
Perihel der Planetenbahnen . . 145
Perseiden 242
Perturbationen 269
Phasen des Mercur 146
— des Mondes 166
— der Venus 147
Photographie der Sonnenfinsterniss von 1868 304
Photometrische Vergleichung der Fixsterne 314
Photosphäre 297
Planeten 121
— Epoche derselben 142
— mittlere Entfernung derselben von der Sonne 140
— obere 122
— siderische Umlaufszeit derselben 143
— untere 122
— Spectrum derselben 380
— Winkelgeschwindigkeit derselben 143

Seite

Planeten, Zeichen derselben . . 121
Planetarische Nebel 329
Planetenbahnen, scheinbare . . . 122
— Elemente derselben 139
— Excentricität derselben . . . 145
— Neigung derselben 140
Planetensysteme 128
Planetoiden 160
Plateaus, Temperaturverhältnisse derselben 495
Plejaden 15
Polarisation des Himmels 381
— des Wassers 385
Polarisationsphotometer 364
Polariskop 327
Polarkreise 107
Polarlicht 778
Polarstern 14, 99
Polaruhr 384
Poldistanz 29
Pole der Ekliptik 80
— der Erde 55
— des Himmels 7
— magnetische 745
Polhöhe 7
Präcession 99
— Erklärung derselben 279
Protuberanzen 301
— Beobachtung derselben . . . 305
— Spectrum derselben 304
Psychrometer 639
Ptolemäisches System 128

Q.

Quadratur 122
Quellentemperatur 543

R.

Radiationspunkt 242
Radius vector 115
Rechtläufig 121
Rectascension 30
— einiger Sterne 31
Refraction, atmosphärische . . . 354
Regelation 505
Regen 655
Regenbogen 397
Regenkarten 662
Regenmenge 656
Regenmesser 655
Regentage 660
Regenwolken 654

Seite
Registrirende Instrumente . . . 435
— Barometer 571
— Hygrometer 635
Reif 651
Reisetheodolit, magnetisches . . 725
Revolution, siderische 123
— synodische 123
Rillen 193
Ring des Saturn 157
Ringgebirge des Mondes 192
Rückgang der Aequinoctialpunkte 97
Rückläufig 121
Rückschlag 714

S.

Säculare magnetische Variationen 755
Sammelapparate, elektrische . . 685
Samum 610
Satelliten 165
Saturn 157
Saussure's Hygrometer 632
Schaltjahr 97
Schalttag 97
Scintillation 357
Schichtwolken 653
Schiefe der Ekliptik 80
Schnee 669
— Farbe desselben 671
Schneefelder 496
Schneegränze 496
Schneekryställchen 669
Schwankungen, barometrische . 570
Schweif der Kometen 203
— scheinbare Länge desselben . 203
— wahre Länge desselben . . . 215
Schwere, allgemeine 250, 254
— auf der Oberfläche verschiedener Himmelskörper 267
Seculare Variationen des Klimas 486
Secundenpendel 68
Seegesicht 395
Seeklima 468
Seewind 600
Sextant 92
Siccimeter 664
Siderische Umlaufszeit der Planeten 123
— des Mondes 166
Sirocco 611
Solano 611
Solstitialcolur 80
Solstitialpunkte 80
Solstitium 80

Seite
Sonne, Dimensionen derselben . 119
— Dichtigkeit derselben 266
— Entfernung derselben 116
— Masse derselben 257
— Ortsveränderung derselben am Himmelsgewölbe 77
— physische Constitution derselben 308
Sonnenatmosphäre 301
Sonnenäquator 295
Sonnenfackeln 297
Sonnenfinsterniss von 1868 . . . 303
Sonnenfinsternisse 183
Sonnenflecken 296
— Periodicität derselben 296
Sonnenglas 24
Sonnenparallaxe 118
Sonnenuhr 94
Sonnenwende 80
Sonnenzeit 10, 83
Spectrum der Protuberanzen . . 304
— der Fixsterne 334
— der Planeten 380
— der Kometen 340
— des Zodiakallichtes 314
— des Blitzes 711
— des Nordlichtes 778
Springfluth 275
Springquellen 544
Stationär 122
Steinmeteorite 226
Sternbedeckungen 171
Sternbezeichnung 13
Sternbilder 6, 11
Sterne, farbige 325
— Funkeln derselben 357
— Grössen derselben 12
— photometrische Vergleichung derselben 314
— teleskopische 12
— temporäre 324
— veränderliche 322
Sternhaufen 331
Sternkarten 12
Sternnamen 13
Sternschnuppen 238
— periodische 240
Sterntag 10
Sternzeit 10
Stirnwälle 513
Störungen 268
— der Kometen 271
— der Mondsbahn 272
— magnetische 758

Seite
Stierneu 530
Strahlung, nächtliche 529
Stratus 653
Strokkr 547
Stundenkreis 28
Stundenring 86
Stundenwinkel 29
Stürme 615
Sturmtheorie Dove's 617
Süden 7
Südliche Hemisphäre des Himmels 7
Südlicht 777
Südpol der Erde 55
Südpunkt 7
Synodische Umlaufszeit der Planeten 143
— — des Mondes 166
Syzygien 166

T.

Tagbogen 9
Tagesdauer 110
Tageshelle 372
Temperatur, mittlere 443
— der Luft 443
— des Bodens 530
— der Bohrlöcher 535
— höherer Luftregionen 489
— der Quellen 543
— des Weltraumes 528
— der Meeresoberfläche 560
— der Meerestiefen 562
— der Seeen und Flüsse 558
Tellurische Linien im Spectrum 378
Terminsbeobachtungen 759
Thalwind 600
Thau 650
Thaupunkt 636
Theodolit 21
— magnetisches 725
Thermen 544
Thermometer 428
Thermometrograph 431
Thierkreis 82
Tornados 616
Trabanten 165
— des Jupiter 197
— des Saturn 201
— des Uranus 201
Treibeis 564
Trockenheit der Luft 648
Tromben 620
Tropen 422
Tychonisches Planetensystem . . 131
Tyfoons 620

U.

Udometer 655
Uhren, galvanisch-registrirende . 37
Umlaufszeit, synodische 123
— siderische 123
— tropische 142
— synodische der Planeten . . . 143
— siderische der Planeten . . . 143
Ungleichheiten des Planetenlaufes 129
Untere Planeten 122
— Conjunction 122
— Culmination 9
Uranus 159

V.

Variationen, barometrische . . . 570
— magnetische 755
— seculare des Klimas 485
— des Wassergehaltes der Luft . 643
Venus 147
— Atmosphäre derselben 152
— Grösse derselben 152
— Phasen derselben 147
Venusdurchgang 149
Verdunstung 663
Verfinsterung der Jupitertrabanten 199
Veränderlichkeit der Witterungsverhältnisse 480
Veränderlichkeit monatlicher Temperatur-Mittel 480
Vesta 160
Vollmond 166
Vulcane 537

W.

Wald, sein Einfluss auf das Klima 487
— — auf die Regenmenge . . . 667
Wagebarometer 571
Wallebenen 192
Wassergehalt der Luft 631
— absoluter und relativer . . . 643
Wasserhosen 620
Weltaxe 7
Wendekreise 107
Wendestunden 574
Westen 7
Westpunkt 7

	Seite
Wetterleuchten	712
Wettersäulen	620
Widmannstätt'sche Figuren	226
Winde	599
— Entstehung derselben	599
— heisse	609
— in höheren Breiten	604
— regelmässige	601
Winddrehung	606
Windrose, barometrische und thermometrische	608
Wirbelstürme	617
Witterung	420
Witterungsberichte, telegraphische	622
Wolken	652

Z.

	Seite
Zeichen der Ekliptik	82
Zeit, astronomische	11
— bürgerliche	11
— mittlere und wahre	83
Zeitbestimmung	88
Zeitgleichung	85
Zenith	6
Zenithdistanz	18
Zodiakallicht	311
Zodiacus	82
Zonen der Erde	108
— klimatische	422

Berichtigung.

Die Gleichung 3 am Schlusse der Seite 256 soll heissen:

$$G = h \frac{M}{R^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

Auf Seite 455 Zeile 22 von unten ist zu lesen: XVIII a und XIX a, statt XVIII und XIX.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

BUCHBINDER
MÜNCHEN

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Müller, Johann Heinrich Jacob, 1809-1875

Lehrbuch der kosmischen Physik

Bd.: [1]

Braunschweig 1872

BHS II H 111-3
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10999407-7